

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2003 年 10 月 23 日 (23.10.2003)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 03/088330 A1

(51) 国際特許分類⁷: **H01L 21/027**, G03F 7/20, G02B 13/24, 1/02, 27/28, 17/08, 13/24, 1/02

(21) 国際出願番号: PCT/JP03/04142

(22) 国際出願日: 2003 年 3 月 31 日 (31.03.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願2002-101096 2002 年 4 月 3 日 (03.04.2002) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社
ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒100-8331
東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大村 泰弘
(OMURA, Yasuhiro) [JP/JP]; 〒100-8331 東京都千
代田区丸の内三丁目2番3号 株式会社ニコン内
Tokyo (JP). 小澤 稔彦 (OZAWA, Toshihiko) [JP/JP]; 〒
100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 株
式会社ニコン内 Tokyo (JP).

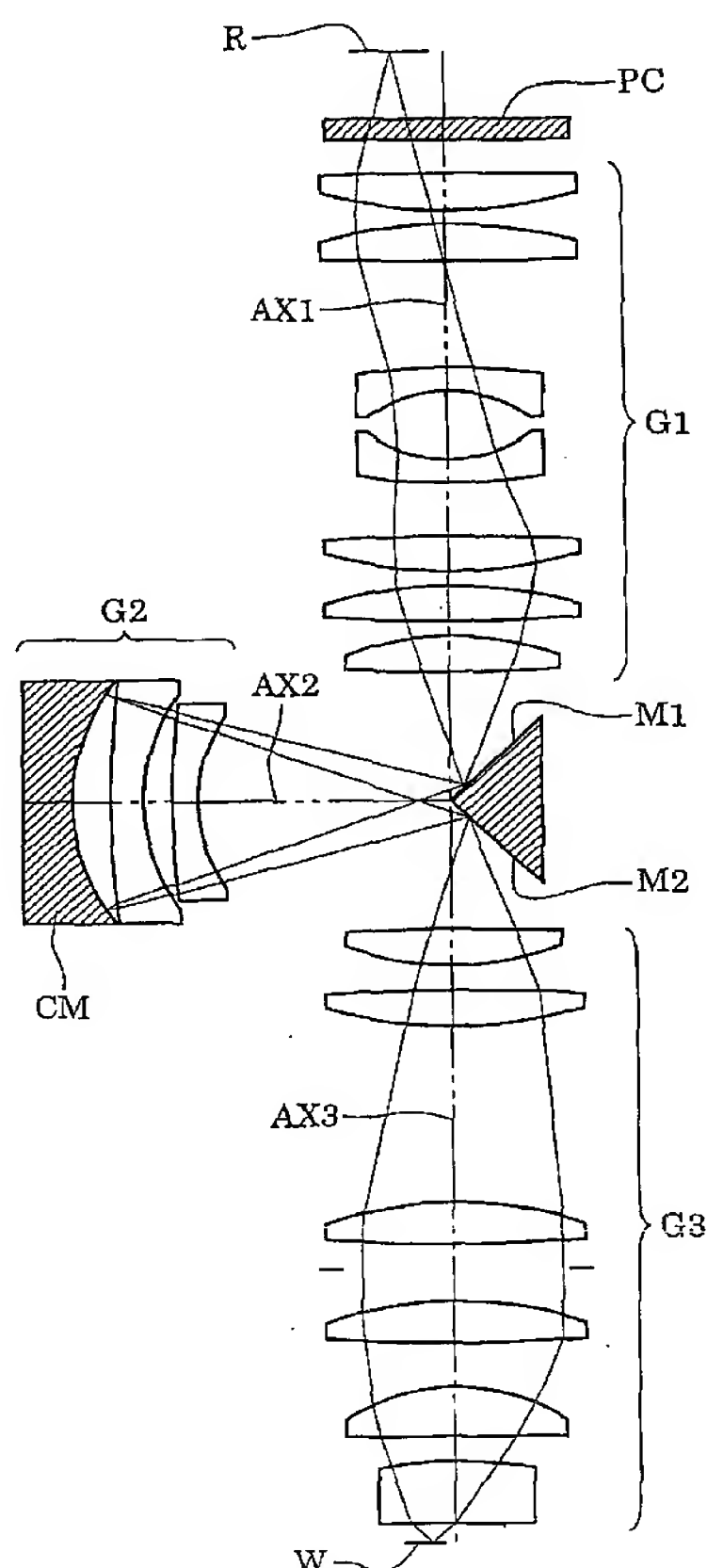
(74) 代理人: 山口 孝雄 (YAMAGUCHI, Takao); 〒101-0048
東京都千代田区神田司町二丁目10番地 第一ビル
Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB,
BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU,
ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,
LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ,

[続葉有]

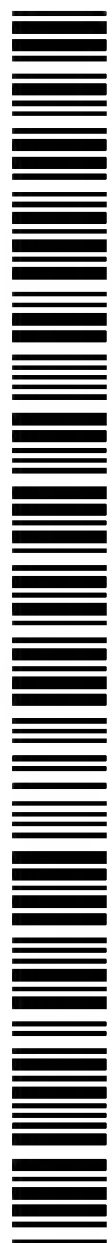
(54) Title: PROJECTION OPTICAL SYSTEM, EXPOSURE SYSTEM AND EXPOSURE METHOD

(54) 発明の名称: 投影光学系、露光装置および露光方法



(57) Abstract: An projection optical system having good optical features without being substantially affected by double refraction even when a crystal material showing an intrinsic double refraction such as fluorite is used. The projection optical system includes a crystal transmitting member formed of a crystal material to form an image on a first plane (R) onto a second plane (W). A light transmitting phase correcting member (PC) is provided for correcting the phase difference between mutually orthogonal polarization components produced due to a crystal transmitting member. The phase correcting member is formed of a uniaxial crystal with its optical axis almost agreeing with the optical axis (AX1) of an optical system.

(57) 要約: たとえば蛍石のような固有複屈折を示す結晶材料を用いても、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有する投影光学系。結晶材料で形成された結晶透過部材を含み、第1面(R)の像を第2面(W)に形成する投影光学系。結晶透過部材に起因して発生する互いに直交する偏光成分の間の位相差を補正するための光透過性の位相補正部材(PC)を備えている。位相補正部材は、一軸性結晶で形成され且つその光学軸が光学系の光軸(AX1)とほぼ一致するように形成されている。



WO 03/088330 A1



OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(84) 指定国 (広域): ARIPO 特許 (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR), OAPI

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

投影光学系、露光装置および露光方法

技術分野

本発明は、投影光学系、露光装置および露光方法に関し、特に半導体素子や液晶表示素子などのマイクロデバイスをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に好適な投影光学系に関するものである。

背景技術

半導体集積回路や液晶ディスプレイ等の電子デバイス（マイクロデバイス）の微細パターンの形成に際して、形成すべきパターンを4～5倍程度に比例拡大して描画したフォトマスク（レチクルとも呼ぶ）のパターンを、投影露光装置を用いてウェハ等の感光性基板（被露光基板）上に縮小露光転写する方法が用いられている。この種の投影露光装置では、半導体集積回路の微細化に対応するために、その露光波長が短波長側へシフトし続けている。

現在、露光波長はKrFエキシマレーザーの248nmが主流となっているが、より短波長のArFエキシマレーザーの193nmも実用化段階に入りつつある。さらに、波長157nmのF₂レーザーや波長146nmのKr₂レーザー、波長126nmのAr₂レーザー等の、いわゆる真空紫外域と呼ばれる波長帯の光を供給する光源を使用する投影露光装置の提案も行なわれている。また、投影光学系の大開口数（NA）化によっても高解像度化が可能であるため、露光波長の短波長化のための開発だけでなく、より大きい開口数を有する投影光学系の開発もなされている。

このように波長の短い紫外域の露光光に対しては、透過率や均一性の良好な光学材料（レンズ材料）は限定される。ArFエキシマレーザーを光源とする投影光学系では、レンズ材料として合成石英ガラスも使用可能であるが、1種類のレンズ材料では色収差の補正を十分に行うことができないので、一部のレンズにフ

フッ化カルシウム結晶（蛍石）が用いられる。一方、 F_2 レーザーを光源とする投影光学系では、使用可能なレンズ材料は実質上フッ化カルシウム結晶（蛍石）に限定される。

最近、このように波長の短い紫外線に対しては、立方晶系に属する結晶材料であるフッ化カルシウム結晶（蛍石）においても、固有複屈折が存在することが報告されている。電子デバイスの製造に用いられる投影光学系のような超高精度の光学系においては、レンズ材料の複屈折に伴って生じる収差は致命的であり、複屈折の影響を実質的に回避したレンズ構成およびレンズ設計の採用が不可欠である。

本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、たとえば蛍石のような固有複屈折を示す結晶材料を用いても、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有する投影光学系を提供することを目的とする。また、本発明では、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有する投影光学系を用いて、高解像で高精度な投影露光を行うことのできる露光装置および露光方法を提供することを目的とする。

発明の開示

前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、結晶材料で形成された結晶透過部材を含み、第1面の像を第2面に形成する投影光学系において、

前記結晶透過部材に起因して発生する互いに直交する偏光成分の間の位相差を補正するための光透過性の位相補正部材を備えていることを特徴とする投影光学系を提供する。なお、互いに直交する偏光成分としては、光軸を法線とする面内において上記法線を含む方向（放射方向R）に振動するR偏光成分と、当該R偏光成分と直交した振動方向を持つ θ 偏光成分（上記法線を軸とした円周方向 θ に振動方向を有する偏光成分）とを採用することが好ましい。

第1発明の好ましい態様によれば、前記位相補正部材は、一軸性結晶で形成され且つその光学軸が光学系の光軸とほぼ一致するように形成されている。また、前記結晶透過部材は、蛍石（ CaF_2 ）で形成され、結晶軸 $[111]$ または該

結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ と光学的に等価な結晶軸と光学系の光軸とがほぼ一致するように形成された一对の光透過部材を有し、前記位相補正部材は、常光に対する屈折率を N_o とし、異常光に対する屈折率を N_e とするとき、 $N_e < N_o$ を満足する負の一軸性結晶で形成され且つその光学軸が前記光軸とほぼ一致するように形成されている。

あるいは、前記結晶透過部材のすべては、蛍石 (CaF_2) で形成され、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ または該結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ と光学的に等価な結晶軸と光学系の光軸とがほぼ一致するように形成され、前記位相補正部材は、常光に対する屈折率を N_o とし、異常光に対する屈折率を N_e とするとき、 $N_e < N_o$ を満足する負の一軸性結晶で形成され且つその光学軸が前記光軸とほぼ一致するように形成されていることが好ましい。なお、前記負の一軸性結晶は、水晶 (SiO_2) またはライカフ (LiCaAlF_6) であることが好ましい。

あるいは、前記結晶透過部材は、蛍石 (CaF_2) で形成され、結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ または該結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ と光学的に等価な結晶軸と光学系の光軸とがほぼ一致するように形成された一对の光透過部材を有し、前記位相補正部材は、常光に対する屈折率を N_o とし、異常光に対する屈折率を N_e とするとき、 $N_e > N_o$ を満足する正の一軸性結晶で形成され且つその光学軸が前記光軸とほぼ一致するように形成されていることが好ましい。なお、前記正の一軸性結晶は、フッ化マグネシウム (MgF_2) であることが好ましい。

あるいは、前記結晶透過部材は、蛍石 (CaF_2) で形成され、結晶軸 $[1\ 1\ 0]$ または該結晶軸 $[1\ 1\ 0]$ と光学的に等価な結晶軸と光学系の光軸とがほぼ一致するように形成された一对の光透過部材を有し、前記位相補正部材は、常光に対する屈折率を N_o とし、異常光に対する屈折率を N_e とするとき、 $N_e < N_o$ を満足する負の一軸性結晶で形成され且つその光学軸が前記光軸とほぼ一致するように形成されていることが好ましい。なお、前記負の一軸性結晶は、水晶 (SiO_2) またはライカフ (LiCaAlF_6) であることが好ましい。

また、第1発明の好ましい態様によれば、前記位相補正部材は、前記第1面の近傍、前記第2面の近傍、あるいは前記第1面と光学的に共役な面の近傍に配置

されている。また、前記位相補正部材は、光学系の瞳位置またはその近傍に配置されていることが好ましい。なお、前記位相補正部材は、前記第1面と前記第2面との間の距離を L とし、前記第1面、前記第2面、前記第1面と光学的に共役な面、または前記瞳位置から前記位相補正部材までの距離を D とするとき、 $|D/L| \leq 0.15$ を満足するように配置されることが好ましい。さらに、前記位相補正部材を複数個備えていることが好ましい。

さらに、第1発明の好ましい態様によれば、少なくとも1つの凹面反射鏡をさらに備え、前記凹面反射鏡は、前記凹面反射鏡へ向かう光線と前記凹面反射鏡から反射される光線とが通過する往復光路を形成し、前記位相補正部材は、前記往復光路中に配置されている。この場合、前記凹面反射鏡は、ほぼ等倍に用いられ、且つ光学系の瞳位置またはその近傍に配置されていることが好ましい。

前記投影光学系は、前記第1面と前記第2面との間の光路中に前記第1面の中間像を形成する再結像光学系であり、前記位相補正部材は、前記中間像の形成位置の近傍に配置されている。また、前記投影光学系は、1つの凹面反射鏡を備え、前記第1面と前記第2面との間の光路中に前記第1面の中間像を形成する2回結像型の反射屈折光学系であり、前記凹面反射鏡は、前記第1面と前記中間像との間の光路中に配置されていることが好ましい。

あるいは、前記投影光学系は、1つの凹面反射鏡を備え、前記第1面と前記第2面との間の光路中に前記第1面の中間像を形成する2回結像型の反射屈折光学系であり、前記投影光学系を構成するすべての光透過部材の光軸および前記凹面反射鏡の光軸は、互いにほぼ平行に設定されていることが好ましい。あるいは、前記投影光学系は、1つの凹面反射鏡を備え、前記第1面と前記第2面との間の光路中に前記第1面の第1中間像および第2中間像を形成する3回結像型の反射屈折光学系であり、前記凹面反射鏡は、前記第1中間像と前記第2中間像との間の光路中に配置されていることが好ましい。

また、第1発明の好ましい態様によれば、前記投影光学系を構成するすべての光学部材は、光透過部材である。また、前記投影光学系は、直線状に延びる単一光軸を有し、前記投影光学系を構成するすべての光学部材は、その光軸が前記単

一光軸とほぼ一致するように配置されていることが好ましい。さらに、前記投影光学系は、前記第 1 面側および前記第 2 面側の双方にほぼテレセントリックな光学系であり、前記位相補正部材は、一軸性結晶で形成され且つその光学軸が光学系の光軸とほぼ一致するように形成され、平行平面状の形態を有することが好ましい。また、200 nm以下の波長を有する光に基づいて前記第 1 面の像を前記第 2 面に形成することが好ましい。

本発明の第 2 発明では、前記第 1 面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスクに形成されたパターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に形成するための第 1 発明の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

本発明の第 3 発明では、前記第 1 面に設定されたマスクを照明し、第 1 発明の投影光学系を介して前記マスクに形成されたパターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法を提供する。

図面の簡単な説明

第 1 図は、蛍石の結晶軸方位について説明する図である。

第 2 A 図～第 2 C 図は、Burnett らの手法を説明する図であって、光線の入射角に対する複屈折率の分布を示している。

第 3 A 図～第 3 C 図は、本発明において提案する第 1 手法を説明する図であって、光線の入射角に対する複屈折率の分布を示している。

第 4 A 図～第 4 C 図は、本発明において提案する第 2 手法を説明する図であって、光線の入射角に対する複屈折率の分布を示している。

第 5 図は、結晶軸 $[111]$ の蛍石ペアレンズを含む投影光学系の瞳での位相マップを示す図である。

第 6 図は、結晶軸 $[100]$ の蛍石ペアレンズを含む投影光学系の瞳での位相マップを示す図である。

第 7 図は、結晶軸 $[111]$ の蛍石ペアレンズと結晶軸 $[100]$ の蛍石ペアレンズとを含む投影光学系の瞳での位相マップを示す図である。

第 8 図は、正の一軸性結晶で形成された平行平面板を含む投影光学系の瞳での位相マップを示す図である。

第 9 図は、負の一軸性結晶で形成された平行平面板を含む投影光学系の瞳での位相マップを示す図である。

第 10 図は、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ の蛍石ペアレンズと負の一軸性結晶で形成された平行平面板とを含む投影光学系の瞳での位相マップを示す図である。

第 11 図は、結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ の蛍石ペアレンズと正の一軸性結晶で形成された平行平面板とを含む投影光学系の瞳での位相マップを示す図である。

第 12 図は、本発明の実施形態にかかる投影光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

第 13 図は、本実施形態の第 1 実施例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 14 図は、第 1 実施例の第 1 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 15 図は、第 1 実施例の第 2 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 16 図は、第 1 実施例の第 3 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 17 図は、第 1 実施例の第 4 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 18 図は、第 1 実施例の第 5 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 19 図は、本実施形態の第 2 実施例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 20 図は、第 2 実施例の第 1 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 21 図は、第 2 実施例の第 2 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 2 2 図は、本実施形態の第 3 実施例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 2 3 図は、第 3 実施例の第 1 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 2 4 図は、第 3 実施例の第 2 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 2 5 図は、本実施形態の第 4 実施例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 2 6 図は、第 4 実施例の第 1 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 2 7 図は、第 4 実施例の第 2 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 2 8 図は、本実施形態の第 5 実施例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 2 9 図は、第 5 実施例の第 1 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 3 0 図は、第 5 実施例の第 2 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第 3 1 図は、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

第 3 2 図は、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

発明を実施するための最良の形態

第 1 図は、蛍石の結晶軸方位について説明する図である。第 1 図を参照すると、蛍石の結晶軸は、立方晶系の X Y Z 座標系に基づいて規定される。すなわち、+ X 軸に沿って結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ が、+ Y 軸に沿って結晶軸 $[0\ 1\ 0]$ が、+ Z 軸に沿って結晶軸 $[0\ 0\ 1]$ がそれぞれ規定される。

また、XZ平面において結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ および結晶軸 $[0\ 0\ 1]$ と45度をなす方向に結晶軸 $[1\ 0\ 1]$ が、XY平面において結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ および結晶軸 $[0\ 1\ 0]$ と45度をなす方向に結晶軸 $[1\ 1\ 0]$ が、YZ平面において結晶軸 $[0\ 1\ 0]$ および結晶軸 $[0\ 0\ 1]$ と45度をなす方向に結晶軸 $[0\ 1\ 1]$ がそれぞれ規定される。さらに、+X軸、+Y軸および+Z軸に対して等しい鋭角をなす方向に結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ が規定される。

なお、第1図では、+X軸、+Y軸および+Z軸で規定される空間における結晶軸のみを図示しているが、他の空間においても同様に結晶軸が規定される。蛍石では、第1図中実線で示す結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ 方向、およびこれと等価な不図示の結晶軸 $[-1\ 1\ 1]$, $[1\ -1\ 1]$, $[1\ 1\ -1]$ 方向では、複屈折がほぼ零（最小）である。同様に、第1図中実線で示す結晶軸 $[1\ 0\ 0]$, $[0\ 1\ 0]$, $[0\ 0\ 1]$ 方向においても、複屈折がほぼ零（最小）である。一方、第1図中破線で示す結晶軸 $[1\ 1\ 0]$, $[1\ 0\ 1]$, $[0\ 1\ 1]$, およびこれと等価な不図示の結晶軸 $[-1\ 1\ 0]$, $[-1\ 0\ 1]$, $[0\ 1\ -1]$ 方向では、複屈折が最大である。

ところで、2001年5月15日に開かれたリソグラフィに関するシンポジウム（2nd International Symposium on 157nm Lithography）において、米国NISTのJohn H. Burnettらにより、蛍石には固有複屈折（intrinsic birefringence）が存在することを実験および理論の両面から確認したことが発表された。この発表によれば、蛍石は、結晶軸 $[1\ 1\ 0]$, $[-1\ 1\ 0]$, $[1\ 0\ 1]$, $[-1\ 0\ 1]$, $[0\ 1\ 1]$, $[0\ 1\ -1]$ の6方向において、波長157nmの光に対して最大で6.5nm/cm、波長193nmの光に対して最大で3.6nm/cmの複屈折の値を有する。これらの複屈折の値はランダムな複屈折の許容値とされる1nm/cmよりも実質的に大きい値であり、しかもランダムでない分だけ複数のレンズを通して複屈折の影響が蓄積する可能性がある。

Burnettらは、上述の発表において、複屈折の影響を低減する手法を開示している。第2A図～第2C図は、Burnettらの手法を説明する図であって、光線の入射角（光線と光軸とのなす角度）に対する複屈折率の分布を示している。第2A図～第2C図では、図中破線で示す5つの同心円が1目盛り10度を表してい

る。したがって、最も内側の円が光軸に対して入射角 10 度の領域を、最も外側の円が光軸に対して入射角 50 度の領域を表している。

また、黒丸は比較的大きな屈折率を有する複屈折のない領域を、白丸は比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域を表している。一方、太い円および長い両矢印は複屈折のある領域における比較的大きな屈折率の方向を、細い円および短い両矢印は複屈折のある領域における比較的小さな屈折率の方向を表している。以降の第 3 A 図～第 3 C 図においても、上述の表記は同様である。

Burnett らの手法では、一对の蛍石レンズ（蛍石で形成されたレンズ）の光軸と結晶軸 $[111]$ （または該結晶軸 $[111]$ と光学的に等価な結晶軸）とを一致させ、且つ光軸を中心として一对の蛍石レンズを 60 度だけ相対的に回転させる。したがって、一方の蛍石レンズにおける複屈折率の分布は第 2 A 図に示すようになり、他方の蛍石レンズにおける複屈折率の分布は第 2 B 図に示すようになる。その結果、一对の蛍石レンズ全体における複屈折率の分布は、第 2 C 図に示すようになる。

この場合、第 2 A 図および第 2 B 図を参照すると、光軸と一致している結晶軸 $[111]$ に対応する領域は、比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域となる。また、結晶軸 $[100]$, $[010]$, $[001]$ に対応する領域は、比較的大きな屈折率を有する複屈折のない領域となる。さらに、結晶軸 $[110]$, $[101]$, $[011]$ に対応する領域は、周方向の偏光に対する屈折率が比較的小さく径方向の偏光に対する屈折率が比較的大きい複屈折領域となる。このように、個々の蛍石レンズでは、光軸から 35.26 度（結晶軸 $[111]$ と結晶軸 $[110]$ とのなす角度）の領域において、複屈折の影響を最大に受けることがわかる。

一方、第 2 C 図を参照すると、一对の蛍石レンズを 60 度だけ相対的に回転させることにより、一对の蛍石レンズ全体では、複屈折が最大である結晶軸 $[110]$, $[101]$, $[011]$ の影響が薄められることがわかる。そして、光軸から 35.26 度の領域において、径方向の偏光に対する屈折率よりも周方向の偏光に対する屈折率が小さい複屈折領域が残ることになる。換言すれば、Burnett ら

の手法を用いることにより、光軸に関して回転対称な分布が残るが、複屈折の影響をかなり低減することができる。

また、本発明において提案する第1手法では、一对の蛍石レンズ（一般には蛍石で形成された透過部材）の光軸と結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ （または該結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ と光学的に等価な結晶軸）とを一致させ、且つ光軸を中心として一对の蛍石レンズを約45度だけ相対的に回転させる。ここで、結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ と光学的に等価な結晶軸とは、結晶軸 $[0\ 1\ 0]$, $[0\ 0\ 1]$ である。

第3A図～第3C図は、本発明において提案する第1手法を説明する図であって、光線の入射角（光線と光軸とのなす角度）に対する複屈折率の分布を示している。本発明において提案する第1手法では、一方の蛍石レンズにおける複屈折率の分布は第3A図に示すようになり、他方の蛍石レンズにおける複屈折率の分布は第3B図に示すようになる。その結果、一对の蛍石レンズ全体における複屈折率の分布は、第3C図に示すようになる。

第3A図および第3B図を参照すると、本発明において提案する第1手法では、光軸と一致している結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ に対応する領域は、比較的大きな屈折率を有する複屈折のない領域となる。また、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$, $[1\ -1\ 1]$, $[-1\ 1\ -1]$, $[1\ 1\ -1]$ に対応する領域は、比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域となる。さらに、結晶軸 $[1\ 0\ 1]$, $[1\ 0\ -1]$, $[1\ 1\ 0]$, $[1\ -1\ 0]$ に対応する領域は、周方向の偏光に対する屈折率が比較的大きく径方向の偏光に対する屈折率が比較的小さい複屈折領域となる。このように、個々の蛍石レンズでは、光軸から45度（結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ と結晶軸 $[1\ 0\ 1]$ とのなす角度）の領域において、複屈折率の影響を最大に受けることがわかる。

一方、第3C図を参照すると、一对の蛍石レンズを45度だけ相対的に回転させることにより、一对の蛍石レンズ全体では、複屈折が最大である結晶軸 $[1\ 0\ 1]$, $[1\ 0\ -1]$, $[1\ 1\ 0]$, $[1\ -1\ 0]$ の影響がかなり薄められ、光軸から45度の領域において径方向の偏光に対する屈折率よりも周方向の偏光に対する屈折率が高い複屈折領域が残ることになる。換言すれば、本発明において提案する第1手法を用いることにより、光軸に関して回転対称な分布が残るが、複屈折

の影響をかなり低減することができる。

なお、本発明において提案する第1手法において、一方の蛍石レンズと他方の蛍石レンズとを光軸を中心として約45度だけ相対的に回転させるとは、一方の蛍石レンズおよび他方の蛍石レンズにおける光軸とは異なる方向に向けられる所定の結晶軸（たとえば結晶軸 $[0\ 1\ 0]$ 、 $[0\ 0\ 1]$ 、 $[0\ 1\ 1]$ または $[0\ 1\ -1]$ ）同士の光軸を中心とした相対的な角度が約45度であることを意味する。具体的には、たとえば一方の蛍石レンズにおける結晶軸 $[0\ 1\ 0]$ と、他方の蛍石レンズにおける結晶軸 $[0\ 1\ 0]$ との光軸を中心とした相対的な角度が約45度であることを意味する。

また、第3A図および第3B図からも明らかな通り、結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ を光軸とする場合には、光軸を中心とした複屈折の影響の回転非対称性が90度の周期で現れる。したがって、本発明において提案する第1手法において、光軸を中心として約45度だけ相対的に回転させるということは、光軸を中心として約45度+ $(n \times 90\text{度})$ だけ相対的に回転させること、すなわち45度、135度、225度、または315度・・・だけ相対的に回転させることと同じ意味である（ここで、 n は整数である）。

一方、Burnettらの手法において、一方の蛍石レンズと他方の蛍石レンズとを光軸を中心として約60度だけ相対的に回転させるとは、一方の蛍石レンズおよび他方の蛍石レンズにおける光軸とは異なる方向に向けられる所定の結晶軸（たとえば結晶軸 $[-1\ 1\ 1]$ 、 $[1\ 1\ -1]$ 、または $[1\ -1\ 1]$ ）同士の光軸を中心とした相対的な角度が約60度であることを意味する。具体的には、たとえば一方の蛍石レンズにおける結晶軸 $[-1\ 1\ 1]$ と、他方の蛍石レンズにおける結晶軸 $[-1\ 1\ 1]$ との光軸を中心とした相対的な角度が約60度であることを意味する。

また、第2A図および第2B図からも明らかな通り、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ を光軸とする場合には、光軸を中心とした複屈折の影響の回転非対称性が120度の周期で現れる。したがって、Burnettらの手法において、光軸を中心として約60度だけ相対的に回転させるということは、光軸を中心として約60度+ $(n \times 1$

20度)だけ相対的に回転させること、すなわち60度、180度、または300度・・・だけ相対的に回転させることと同じ意味である(ここで、 n は整数である)。

また、本発明において提案する第2手法では、一对の蛍石レンズ(一般には蛍石で形成された透過部材)の光軸と結晶軸 $[110]$ (または該結晶軸 $[110]$ と光学的に等価な結晶軸)とを一致させ、且つ光軸を中心として一对の蛍石レンズを約90度だけ相対的に回転させる。ここで、結晶軸 $[110]$ と光学的に等価な結晶軸とは、結晶軸 $[-110]$, $[101]$, $[-101]$, $[011]$, $[01-1]$ である。

第4A図～第4C図は、本発明において提案する第2手法を説明する図であって、光線の入射角に対する複屈折率の分布を示している。本発明において提案する第2手法では、一方の蛍石レンズにおける複屈折率の分布は第4A図に示すようになり、他方の蛍石レンズにおける複屈折率の分布は第4B図に示すようになる。その結果、一对の蛍石レンズ全体における複屈折率の分布は、第4C図に示すようになる。

第4A図および第4B図を参照すると、本発明において提案する第2手法では、光軸と一致している結晶軸 $[110]$ に対応する領域は、一方の方向の偏光に対する屈折率が比較的大きく他方の方向(一方の方向に直交する方向)の偏光に対する屈折率が比較的小さい複屈折領域となる。結晶軸 $[100]$, $[010]$ に対応する領域は、比較的大きな屈折率を有する複屈折のない領域となる。さらに、結晶軸 $[111]$, $[11-1]$ に対応する領域は、比較的小さな屈折率を有する複屈折のない領域となる。

一方、第4C図を参照すると、一对の蛍石レンズを90度だけ相対的に回転させることにより、一对の蛍石レンズ全体では、複屈折が最大である結晶軸 $[110]$ の影響がほとんどなく、光軸付近は中間的な屈折率を有する複屈折のない領域となる。すなわち、本発明において提案する第2手法を用いることにより、複屈折の影響を実質的に受けることなく、良好な結像性能を確保することができる。

なお、本発明において提案する第2手法において、一方の蛍石レンズと他方の

蛍石レンズとを光軸を中心として約90度だけ相対的に回転させるとは、一方の蛍石レンズおよび他方の蛍石レンズにおける光軸とは異なる方向に向けられる所定の結晶軸（たとえば結晶軸 $[0\ 0\ 1]$ 、 $[-1\ 1\ 1]$ 、 $[-1\ 1\ 0]$ 、または $[1\ -1\ 1]$ ）同士的光軸を中心とした相対的な角度が約90度であることを意味する。具体的には、たとえば一方の蛍石レンズにおける結晶軸 $[0\ 0\ 1]$ と、他方の蛍石レンズにおける結晶軸 $[0\ 0\ 1]$ との光軸を中心とした相対的な角度が約90度であることを意味する。

また、第4A図および第4B図からも明らかな通り、結晶軸 $[1\ 1\ 0]$ を光軸とする場合には、光軸を中心とした複屈折の影響の回転非対称性が180度の周期で現れる。したがって、本発明において提案する第2手法において、光軸を中心として約90度だけ相対的に回転させるということは、光軸を中心としてほぼ $90\text{度} + (n \times 180\text{度})$ だけ相対的に回転させること、すなわち90度、270度・・・だけ相対的に回転させることと同じ意味である（ここで、 n は整数である）。

上述の説明の通り、一对の蛍石レンズの光軸と結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ とを一致させ、且つ光軸を中心として一对の蛍石レンズを60度だけ相対的に回転させることにより、あるいは一对の蛍石レンズの光軸と結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ とを一致させ、且つ光軸を中心として一对の蛍石レンズを45度だけ相対的に回転させることにより、あるいは一对の蛍石レンズの光軸と結晶軸 $[1\ 1\ 0]$ とを一致させ、且つ光軸を中心として一对の蛍石レンズを90度だけ相対的に回転させることにより、複屈折の影響をかなり低減することができる。

ここで、一对の蛍石レンズの光軸と結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ とを一致させて60度相対回転させたときに残存する回転対称な分布と、一对の蛍石レンズの光軸と結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ とを一致させて45度相対回転させたときに残存する回転対称な分布とは逆向きである。換言すれば、光軸と結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ とを一致させて60度相対回転させた一对の蛍石レンズ（以下、「結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ の蛍石ペアレンズ」という）における進相軸と、結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ とを一致させて45度相対回転させた一对の蛍石レンズ（以下、「結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ の蛍石ペアレンズ」とい

う)における進相軸とは直交する。

さらに別の表現をすれば、結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ の蛍石ペアレンズでは径方向に進相軸がある複屈折分布が残り、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ の蛍石ペアレンズでは周方向に進相軸がある複屈折分布が残る。なお、試料に複屈折が存在する場合、屈折率の差により当該試料を通過する振動面（偏光面）の直交した2つの直線偏光の光の位相が変化する。すなわち一方の偏光に対して他方の偏光の位相が進んだり遅れたりすることになるが、位相が進む方の偏光方向を進相軸と呼び、位相が遅れる方の偏光方向を遅相軸と呼ぶ。

こうして、一对の蛍石レンズの光軸と結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ とを一致させて60度相対回転させた結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ の蛍石ペアレンズと、一对の蛍石レンズの光軸と結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ とを一致させて45度相対回転させた結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ の蛍石ペアレンズとの組み合わせにより、複屈折の影響をさらに良好に低減することができることがわかる。

ところで、ライカフ (LiCaAlF_6) や水晶 (SiO_2) やフッ化マグネシウム (MgF_2) のような一軸性結晶で形成された平行平板（以下、「一軸性結晶平行平板」という）は、互いに直交する偏光成分の間に位相差を付与するという特性を有する。換言すれば、一軸性結晶平行平板を光が透過すると、たとえば光軸を法線とする面内においてこの法線を含む方向（放射方向R）に振動するR偏光成分と、R偏光成分と直交した振動方向を持つ θ 偏光成分（上記法線を軸とした円周方向 θ に振動方向を有する偏光成分）との間に位相差が付与される。

そこで、本発明では、結晶材料で形成された結晶透過部材に起因して発生する互いに直交する偏光成分の間の位相差、たとえば蛍石で形成された蛍石レンズの複屈折性に起因して発生するR偏光成分と θ 偏光成分との間の位相差を、たとえば一軸性結晶で形成された平行平板のような位相補正部材の作用（R偏光成分と θ 偏光成分との間に位相差を付与する作用）により補正する。その結果、本発明では、たとえば複数の蛍石レンズを含む投影光学系の場合、位相補正部材の作用により複屈折の影響を良好に低減することができ、複屈折の影響を実質的に受

けることなく良好な光学性能を確保することができる。なお、一軸性結晶平行平面板は、その光学軸が光学系の光軸とほぼ一致するように形成されていることが好ましい。この構成により、光学系の瞳において光軸に関して回転対称な位相差を付与することができ、たとえば蛍石レンズの複屈折の影響を良好に低減することができる。

第5図は、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ の蛍石ペアレンズを含む投影光学系の瞳での位相マップを示す図である。また、第6図は、結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ の蛍石ペアレンズを含む投影光学系の瞳での位相マップを示す図である。さらに、第7図は、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ の蛍石ペアレンズと結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ の蛍石ペアレンズとを含む投影光学系の瞳での位相マップを示す図である。

第5図の瞳位相マップを参照すると、上述したように、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ の蛍石ペアレンズを含む投影光学系の場合、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ の蛍石ペアレンズの複屈折に起因して、周方向に進相軸があり且つ径方向に遅相軸がある複屈折分布になることがわかる。一方、第6図の瞳位相マップを参照すると、上述したように、結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ の蛍石ペアレンズを含む投影光学系の場合、結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ の蛍石ペアレンズの複屈折に起因して、周方向に遅相軸があり且つ径方向に進相軸がある複屈折分布になることがわかる。

したがって、第7図の瞳位相マップを参照すると、上述したように、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ の蛍石ペアレンズと結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ の蛍石ペアレンズとを含む投影光学系の場合、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ の蛍石ペアレンズと結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ の蛍石ペアレンズとの組み合わせにより、蛍石レンズに起因する複屈折の影響を良好に低減することができることがわかる。なお、図示を省略したが、結晶軸 $[1\ 1\ 0]$ の蛍石ペアレンズを含む投影光学系の場合、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ の蛍石ペアレンズを含む投影光学系の場合と同様に、結晶軸 $[1\ 1\ 0]$ の蛍石ペアレンズの複屈折に起因して、周方向に進相軸があり且つ径方向に遅相軸がある複屈折分布になる。

第8図は、正の一軸性結晶で形成された平行平面板（以下、「正の一軸性結晶平行平面板」という）を含む投影光学系の瞳での位相マップを示す図である。また、第9図は、負の一軸性結晶で形成された平行平面板（以下、「負の一軸性結

晶平行平板」という)を含む投影光学系の瞳での位相マップを示す図である。さらに、第10図は、結晶軸 $[111]$ の蛍石ペアレンズと負の一軸性結晶平行平板とを含む投影光学系の瞳での位相マップを示す図である。

また、第11図は、結晶軸 $[100]$ の蛍石ペアレンズと正の一軸性結晶平行平板とを含む投影光学系の瞳での位相マップを示す図である。なお、負の一軸性結晶は、たとえば水晶(SiO_2)やライカフ(LiCaAlF_6)のように、常光に対する屈折率を N_o とし、異常光に対する屈折率を N_e とすると、 $N_e < N_o$ を満足する。逆に、正の一軸性結晶は、たとえばフッ化マグネシウム(MgF_2)のように、 $N_e > N_o$ を満足する。200nm以下の波長を有する光が透過する負の一軸性結晶は少なく、ライカフ(LiCaAlF_6)はその有力候補である。

第8図の瞳位相マップを参照すると、正の一軸性結晶平行平板を含む投影光学系の場合、結晶軸 $[111]$ の蛍石ペアレンズを含む投影光学系の場合と同様に、正の一軸性結晶平行平板の作用により、周方向に進相軸があり且つ径方向に遅相軸がある複屈折分布が発生することがわかる。一方、第9図の瞳位相マップを参照すると、負の一軸性結晶平行平板を含む投影光学系の場合、結晶軸 $[100]$ の蛍石ペアレンズを含む投影光学系の場合と同様に、負の一軸性結晶平行平板の作用により、周方向に遅相軸があり且つ径方向に進相軸がある複屈折分布が発生することがわかる。

したがって、本発明では、第10図の瞳位相マップに示すように、結晶軸 $[111]$ の蛍石ペアレンズと負の一軸性結晶平行平板とを組み合わせることにより、結晶軸 $[111]$ の蛍石ペアレンズと結晶軸 $[100]$ の蛍石ペアレンズとを組み合わせただけの場合と同様に、蛍石レンズに起因する複屈折の影響を良好に低減することができる。一般に、光軸と結晶軸 $[100]$ とを一致させて蛍石レンズを形成する手法はあまり試みられたことがなく、内部歪を小さく抑えることが困難であり、加工性もあまり良くない。

この態様では、内部歪を小さく抑えることが困難で且つ加工性もあまり良くない結晶軸 $[100]$ の蛍石ペアレンズを使用することなく、結晶軸 $[111]$ の

蛍石ペアレンズと結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ の蛍石ペアレンズとの組み合わせによる効果と同等の効果を得ることができるので、非常に有利である。特に、投影光学系を構成するすべての蛍石レンズにおいて光軸と結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ とを一致させ、これらの蛍石レンズと負の一軸性結晶平行平板とを組み合わせることにより、蛍石レンズにおける内部歪を小さく抑えることができ、その加工性も良好になる。

また、本発明では、第 11 図の瞳位相マップに示すように、結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ の蛍石ペアレンズと正の一軸性結晶平行平板とを組み合わせることにより、結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ の蛍石ペアレンズと結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ の蛍石ペアレンズとを組み合わせた場合と同様に、蛍石レンズに起因する複屈折の影響を良好に低減することができることがわかる。さらに、本発明では、図示を省略したが、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ の蛍石ペアレンズと類似の複屈折分布を呈する結晶軸 $[1\ 1\ 0]$ の蛍石ペアレンズと負の一軸性結晶平行平板とを組み合わせることにより、結晶軸 $[1\ 1\ 0]$ の蛍石ペアレンズと結晶軸 $[1\ 0\ 0]$ の蛍石ペアレンズとを組み合わせた場合と同様に、蛍石レンズに起因する複屈折の影響を良好に低減することができる。

本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。

第 12 図は、本発明の実施形態にかかる投影光学系を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。なお、第 12 図において、投影光学系 PL の光軸 AX に平行に Z 軸を、光軸 AX に垂直な面内において第 12 図の紙面に平行に Y 軸を、光軸 AX に垂直な面内において第 12 図の紙面に垂直に X 軸を設定している。

第 12 図に示す露光装置は、紫外領域の照明光を供給するための光源 LS として、たとえば ArF エキシマレーザー光源（波長 193 nm ）または F_2 レーザー光源（波長 157 nm ）を備えている。光源 LS から射出された光は、照明光学系 IL を介して、所定のパターンが形成されたレチクル（マスク）R を照明する。なお、光源 LS と照明光学系 IL との間の光路はケーシング（不図示）で密封されており、光源 LS から照明光学系 IL 中の最もレチクル側の光学部材までの空間は、露光光の吸収率が低い気体であるヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

レチクルRは、レチクルホルダRHを介して、レチクルステージRS上においてXY平面に平行に保持されている。レチクルRには転写すべきパターンが形成されており、たとえばパターン領域全体のうちX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形状のパターン領域が照明される。レチクルステージRSは、図示を省略した駆動系の作用により、レチクル面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はレチクル移動鏡RMを用いた干渉計RIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

レチクルRに形成されたパターンからの光は、投影光学系PLを介して、感光性基板であるウェハW上にレチクルパターン像を形成する。ウェハWは、ウェハテーブル（ウェハホルダ）WTを介して、ウェハステージWS上においてXY平面に平行に保持されている。そして、レチクルR上での矩形状の照明領域に光学的に対応するように、ウェハW上ではX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形状の露光領域にパターン像が形成される。ウェハステージWSは、図示を省略した駆動系の作用によりウェハ面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標はウェハ移動鏡WMを用いた干渉計WIFによって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

また、図示の露光装置では、投影光学系PLを構成する光学部材のうち最もレチクル側に配置された光学部材と最もウェハ側に配置された光学部材との間で投影光学系PLの内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系PLの内部の気体はヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

さらに、照明光学系ILと投影光学系PLとの間の狭い光路には、レチクルRおよびレチクルステージRSなどが配置されているが、レチクルRおよびレチクルステージRSなどを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

また、投影光学系PLとウェハWとの間の狭い光路には、ウェハWおよびウェハステージWSなどが配置されているが、ウェハWおよびウェハステージWSな

どを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。このように、光源LSからウェハWまでの光路の全体に亘って、露光光がほとんど吸収されることのない雰囲気形成されている。

上述したように、投影光学系PLによって規定されるレチクルR上の照明領域およびウェハW上の露光領域（すなわち実効露光領域）は、Y方向に沿って短辺を有する矩形状である。したがって、駆動系および干渉計（RIF、WIF）などを用いてレチクルRおよびウェハWの位置制御を行いながら、矩形状の露光領域および照明領域の短辺方向すなわちY方向に沿ってレチクルステージRSとウェハステージWSとを、ひいてはレチクルRとウェハWとを同期的に移動（走査）させることにより、ウェハW上には露光領域の長辺に等しい幅を有し且つウェハWの走査量（移動量）に応じた長さを有する領域に対してレチクルパターンが走査露光される。あるいは、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面内においてウェハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光を行うことにより、ウェハWの各露光領域にはレチクルRのパターンが逐次露光される。

第13図は、本実施形態の第1実施例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。第13図を参照すると、第1実施例の投影光学系は、第1面に配置されたレチクルRのパターンの第1中間像を形成するための屈折型の第1結像光学系G1を備えている。第1結像光学系G1が形成する第1中間像の形成位置の近傍には、第1光路折り曲げ鏡M1が配置されている。第1光路折り曲げ鏡M1は、第1中間像へ向かう光束または第1中間像からの光束を、反射屈折型の第2結像光学系G2に向かって偏向する。

第2結像光学系G2は、凹面反射鏡CMと2つの負レンズとを有し、第1中間像からの光束に基づいて第1中間像とほぼ等倍の第2中間像（第1中間像の像であってパターンの2次像）を第1中間像の形成位置の近傍に形成する。第2結像光学系G2が形成する第2中間像の形成位置の近傍には、第2光路折り曲げ鏡M2が配置されている。第2光路折り曲げ鏡M2は、第2中間像へ向かう光束または第2中間像からの光束を屈折型の第3結像光学系G3に向かって偏向する。こ

ここで、第1光路折り曲げ鏡M1の反射面と第2光路折り曲げ鏡M2の反射面とは、空間的に重複しないように位置決めされている。

第3結像光学系G3は、第2中間像からの光束に基づいて、レチクルRのパターンの縮小像（第2中間像の像であって投影光学系の最終像）を、第2面に配置されたウェハW上に形成する。なお、第1結像光学系G1は直線状に延びた光軸AX1を有し、第3結像光学系G3は直線状に延びた光軸AX3を有し、光軸AX1と光軸AX3とは共通の単一光軸である基準光軸AXと一致するように設定されている。

一方、第2結像光学系G2も直線状に延びた光軸AX2を有し、この光軸AX2は基準光軸AXと直交するように設定されている。さらに、第1光路折り曲げ鏡M1および第2光路折り曲げ鏡M2はともに平面状の反射面を有し、2つの反射面を有する1つの光学部材（1つの光路折り曲げ鏡）として一体的に構成されている。この2つの反射面の交線（厳密にはその仮想延長面の交線）が第1結像光学系G1のAX1、第2結像光学系G2のAX2、および第3結像光学系G3のAX3と一点で交わるように設定されている。

以上のように、第1実施例の投影光学系は、1つの凹面反射鏡CMを備え、レチクルRが設定された第1面とウェハWが設定された第2面との間の光路中にレチクルRの第1中間像および第2中間像を形成する3回結像型の反射屈折光学系である。また、凹面反射鏡CMは、第1中間像と第2中間像との間の光路中に配置され、凹面反射鏡CMへ向かう光線と凹面反射鏡CMから反射される光線とが通過する往復光路を形成している。さらに、凹面反射鏡CMは、ほぼ等倍に用いられ、且つ光学系の瞳位置またはその近傍に配置されている。

なお、第1実施例を含む各実施例の投影光学系は、レチクルR側（第1面側）およびウェハW側（第2面側）の双方にほぼテレセントリックな光学系である。両側にテレセントリックな光学系に構成することにより、光軸方向に沿ってレチクルRの位置（物体位置）またはウェハWの位置（像位置）に多少の位置ずれがある場合にも適正な倍率で像を結像することができ、光軸と直交する方向には像の位置ずれを生じさせない。また、この場合、位相補正部材PCは、面加工上の

難易度が高くなるため、平行平板の形態を有することが望ましい。

第1実施例では、第13図に示すように、位相補正部材PCが、レチクルRと第1結像光学系G1との光路中においてレチクルRの近傍に配置されている。さらに具体的には、投影光学系を構成するすべての蛍石レンズは、結晶軸 $[111]$ と光軸(A X 1 ~ A X 3)とがほぼ一致するように形成されている。そして、位相補正部材PCは、水晶(SiO_2)やライカフ(LiCaAlF_6)のような負の一軸性結晶で形成された平行平板(すなわち負の一軸性結晶平行平板)であって、その光学軸は第1結像光学系G1の光軸A X 1とほぼ一致するように形成されている。

その結果、第1実施例では、前述したように、負の一軸性結晶平行平板からなる位相補正部材PCの位相差付与作用により、投影光学系を構成する蛍石レンズの複屈折の影響を良好に低減することができ、ひいては複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有する投影光学系を実現することができる。また、一軸性結晶を利用した位相補正部材PCでは入射角度に応じて位相差を調整するので、両側にテレセントリックな投影光学系においてレチクルR(第1面)の近傍に配置された位相補正部材PCの作用により、瞳内の位相差補正を視野内の全域に亘って均等に行うことができる。

なお、第1実施例において、位相補正部材PCの光学軸が光学系の光軸とほぼ一致するように形成されていない構成も可能である。また、すべての蛍石レンズの光軸が結晶軸 $[111]$ とほぼ一致している必要はなく、結晶軸 $[100]$ や結晶軸 $[110]$ とほぼ一致していてもよい。この場合、位相補正部材PCは、必要に応じて、負の一軸性結晶または正の一軸性結晶で形成されることになる。なお、蛍石レンズの結晶軸方位と位相補正部材PCの特性との関係については、以下の各実施例および各変形例においても同様である。

第14図は、第1実施例の第1変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。また、第15図は、第1実施例の第2変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。さらに、第16図は、第1実施例の第3変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。また、第17図は、第1実施

例の第4変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。さらに、第18図は、第1実施例の第5変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。

第1変形例～第5変形例の投影光学系は、第1実施例の投影光学系と類似の構成を有するが、一軸性結晶平行平板からなる位相補正部材P Cの配置位置だけが第1実施例と相違している。具体的に、第1変形例では、第14図に示すように、位相補正部材P Cが、第1結像光学系G 1と第1光路折り曲げ鏡M 1との間の光路中に配置されている。換言すれば、位相補正部材P Cが、第1中間像の形成位置の近傍、すなわちレチクルRと光学的に共役な面の近傍に配置されている。したがって、第1実施例と同様に、レチクルR（第1面）と光学的に共役な面の近傍に配置された位相補正部材P Cの作用により、瞳内の位相差補正を視野内の全域に亘って均等に行うことができる。

第2変形例では、第15図に示すように、位相補正部材P Cが、第3結像光学系G 3とウェハWとの間の光路中においてウェハWの近傍に配置されている。したがって、第1実施例と同様に、ウェハW（第2面）の近傍に配置された位相補正部材P Cの作用により、瞳内の位相差補正を視野内の全域に亘って均等に行うことができる。第3変形例では、第16図に示すように、位相補正部材P Cが、第2結像光学系G 2と光路折り曲げ鏡M 1およびM 2との間の光路中に、すなわち凹面反射鏡C Mへ向かう光線と凹面反射鏡C Mから反射される光線とが通過する往復光路中に配置されている。

このように、往復光路中に位相補正部材P Cを配置することにより、補正効力を高めることができる。特に、凹面反射鏡C Mがほぼ等倍に用いられ、且つ投影光学系の瞳位置またはその近傍に配置されているので、瞳内の位相差補正を視野内の全域に亘って均等に行うことができる。第4変形例では、第17図に示すように、位相補正部材P Cが、第1結像光学系G 1の光路中において瞳位置またはその近傍に配置されている。この場合、瞳位置またはその近傍に配置された位相補正部材P Cの作用により、視野内の位相差を調整することが可能になる。

第5変形例では、第18図に示すように、位相補正部材P Cが、第3結像光学

系 G 3 の光路中において瞳位置またはその近傍に配置されている。この場合、第 4 変形例と同様に瞳位置またはその近傍に配置された位相補正部材 P C の作用により、視野内の位相差を調整することが可能になる。なお、上述の第 1 実施例およびその変形例では投影光学系が位相補正部材 P C を 1 つだけ含んでいるが、これに限定されることなく、投影光学系が複数の位相補正部材 P C を含む変形例も可能である。この点は、以下の各実施例および関連する各変形例においても同様である。

第 19 図は、本実施形態の第 2 実施例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。第 19 図を参照すると、第 2 実施例の投影光学系は、レチクル R のパターンの中間像を形成するための反射屈折型の第 1 結像光学系 G 1 を備えている。第 1 結像光学系 G 1 は、凹面反射鏡 C M と複数のレンズとを有し、レチクル R からの光束に基づいてほぼ等倍の中間像を形成する。第 1 結像光学系 G 1 が形成する中間像の形成位置の近傍には、第 1 光路折り曲げ鏡 M 1 が配置されている。

第 1 光路折り曲げ鏡 M 1 は、中間像からの光束を第 2 光路折り曲げ鏡 M 2 に向かって偏向する。さらに、第 2 光路折り曲げ鏡 M 2 は、中間像からの光束を屈折型の第 2 結像光学系 G 2 に向かって偏向する。第 2 結像光学系 G 2 は、中間像からの光束に基づいて、レチクル R のパターンの最終像をウェハ W 上に形成する。なお、第 1 結像光学系 G 1 および第 2 結像光学系 G 2 はともに直線状に延びた光軸 A X 1 および A X 2 をそれぞれ有し、光軸 A X 1 と光軸 A X 2 とは互いにほぼ平行に設定されている。

以上のように、第 2 実施例の投影光学系は、1 つの凹面反射鏡 C M を備え、レチクル R が設定された第 1 面とウェハ W が設定された第 2 面との間の光路中にレチクル R の中間像を形成する 2 回結像型の反射屈折光学系である。そして、凹面反射鏡 C M は、レチクル R と中間像との間の光路中に配置され、凹面反射鏡 C M へ向かう光線と凹面反射鏡 C M から反射される光線とが通過する往復光路を形成している。

また、投影光学系を構成するすべてのレンズ（光透過部材）の光軸および凹面反射鏡 C M の光軸は、互いにほぼ平行に設定されている。さらに、凹面反射鏡 C

Mは、ほぼ等倍に用いられ、且つ光学系の瞳位置またはその近傍に配置されている。第2実施例では、第19図に示すように、位相補正部材P CがレチクルRと第1結像光学系G 1との光路中においてレチクルRの近傍に配置されているので、第1実施例と同様に、瞳内の位相差補正を視野内の全域に亘って均等に行うことができる。

第20図は、第2実施例の第1変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。また、第21図は、第2実施例の第2変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。第2実施例の第1変形例および第2変形例の投影光学系は、第2実施例の投影光学系と類似の構成を有するが、一軸性結晶平行平板からなる位相補正部材P Cの配置位置だけが第2実施例と相違している。

具体的に、第2実施例の第1変形例では、第20図に示すように、凹面反射鏡C Mへ向かう光線と凹面反射鏡C Mから反射される光線とが通過する往復光路中に位相補正部材P Cが配置されているので、補正効力を高めることができる。また、凹面反射鏡C Mがほぼ等倍に用いられ、且つ投影光学系の瞳位置またはその近傍に配置されているので、瞳内の位相差補正を視野内の全域に亘って均等に行うことができる。第2実施例の第2変形例では、第21図に示すように、位相補正部材P Cが、第2結像光学系G 2とウェハWとの間の光路中においてウェハWの近傍に配置されているので、瞳内の位相差補正を視野内の全域に亘って均等に行うことができる。

第22図は、本実施形態の第3実施例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。第22図を参照すると、第3実施例の投影光学系は、レチクルRのパターンの中間像を形成するための反射屈折型の第1結像光学系G 1を備えている。第1結像光学系G 1は、凹面反射鏡C Mと複数のレンズと第1光路折り曲げ鏡M 1とを有し、レチクルRからの光束に基づいてほぼ等倍の中間像を形成する。第1結像光学系G 1が形成する中間像の形成位置の近傍には、第2光路折り曲げ鏡M 2が配置されている。

さらに、第2光路折り曲げ鏡M 2は、中間像へ向かう光束または中間像からの光束を屈折型の第2結像光学系G 2に向かって偏向する。第2結像光学系G 2は、

中間像からの光束に基づいて、レチクルRのパターンの最終像をウェハW上に形成する。なお、第1結像光学系G1は第1光路折り曲げ鏡M1によってL字状に折り曲げられた光軸AX1を有し、第2結像光学系G2は直線状に延びた光軸AX2を有する。また、第1光路折り曲げ鏡M1および第2光路折り曲げ鏡M2はともに平面状の反射面を有し、2つの反射面を有する1つの光学部材（1つの光路折り曲げ鏡）として一体的に構成されている。

以上のように、第3実施例の投影光学系は、1つの凹面反射鏡CMを備え、レチクルRが設定された第1面とウェハWが設定された第2面との間の光路中にレチクルRの中間像を形成する2回結像型の反射屈折光学系である。そして、凹面反射鏡CMは、レチクルRと中間像との間の光路中に配置され、凹面反射鏡CMへ向かう光線と凹面反射鏡CMから反射される光線とが通過する往復光路を形成している。

また、凹面反射鏡CMは、ほぼ等倍に用いられ、且つ光学系の瞳位置またはその近傍に配置されている。第3実施例では、第22図に示すように、位相補正部材PCがレチクルRと第1結像光学系G1との光路中においてレチクルRの近傍に配置されているので、第1実施例および第2実施例と同様に、瞳内の位相差補正を視野内の全域に亘って均等に行うことができる。

第23図は、第3実施例の第1変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。また、第24図は、第3実施例の第2変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。第3実施例の第1変形例および第2変形例の投影光学系は、第3実施例の投影光学系と類似の構成を有するが、一軸性結晶平行平板からなる位相補正部材PCの配置位置だけが第3実施例と相違している。

具体的に、第3実施例の第1変形例では、第23図に示すように、第2結像光学系G2の光路中において瞳位置またはその近傍に配置されているので、位相補正部材PCの作用により視野内の位相差を調整することが可能になる。第3実施例の第2変形例では、第24図に示すように、第1位相補正部材PC1がレチクルRの近傍に配置され、第2位相補正部材PC2が瞳位置またはその近傍に配置されているので、第1位相補正部材PC1の作用により瞳内の位相差補正を視野

内の全域に亘って均等に行うことができ、第2位相補正部材PC2の作用により視野内の位相差を調整することが可能になる。

第25図は、本実施形態の第4実施例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。第25図を参照すると、第4実施例の投影光学系は、レチクルRのパターンの中間像を形成するための反射屈折型の第1結像光学系G1と、中間像からの光束に基づいてレチクルRのパターンの最終像をウェハW上に形成するための屈折型の第2結像光学系G2とを備えている。第1結像光学系G1は、凹面反射鏡CM1と凸面反射鏡CM2と複数のレンズとを有し、レチクルRからの光束に基づいてほぼ等倍の中間像を形成する。

なお、第1結像光学系G1は直線状に延びた光軸AX1を有し、第2結像光学系G2は直線状に延びた光軸AX2を有し、光軸AX1と光軸AX2とは共通の単一光軸である基準光軸AXと一致するように設定されている。このように、第4実施例では、すべての光学部材が直線状の単一光軸に沿って配置されているので、光学系の調整などの観点から非常に有利である。

以上のように、第4実施例の投影光学系は、1つの凹面反射鏡CM1を備え、レチクルRが設定された第1面とウェハWが設定された第2面との間の光路中にレチクルRの中間像を形成する2回結像型の反射屈折光学系である。第4実施例では、第25図に示すように、位相補正部材PCがレチクルRと第1結像光学系G1との光路中においてレチクルRの近傍に配置されているので、第1実施例～第3実施例と同様に、瞳内の位相差補正を視野内の全域に亘って均等に行うことができる。

第26図は、第4実施例の第1変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。また、第27図は、第4実施例の第2変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。第4実施例の第1変形例および第2変形例の投影光学系は、第4実施例の投影光学系と類似の構成を有するが、一軸性結晶平行平板からなる位相補正部材PCの配置位置だけが第4実施例と相違している。

具体的に、第4実施例の第1変形例では、第26図に示すように、第2結像光学系G2の光路中において瞳位置またはその近傍に配置されているので、位相補

正部材 P C の作用により視野内の位相差を調整することが可能になる。第 4 実施例の第 2 変形例では、第 27 図に示すように、位相補正部材 P C がウェハ W の近傍に配置されているので、瞳内の位相差補正を視野内の全域に亘って均等に行うことができる。

第 28 図は、本実施形態の第 5 実施例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。第 28 図を参照すると、第 5 実施例の投影光学系は、すべての光学部材がレンズ（光透過部材）である屈折型の光学系であって、すべての光学部材が直線状の単一光軸 A X に沿って配置されている。第 5 実施例では、第 28 図に示すように、位相補正部材 P C がレチクル R の近傍に配置されているので、第 1 実施例～第 4 実施例と同様に、瞳内の位相差補正を視野内の全域に亘って均等に行うことができる。

第 29 図は、第 5 実施例の第 1 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。また、第 30 図は、第 5 実施例の第 2 変形例にかかる投影光学系の構成を概略的に示す図である。第 5 実施例の第 1 変形例および第 2 変形例の投影光学系は、第 5 実施例の投影光学系と類似の構成を有するが、一軸性結晶平行平板からなる位相補正部材 P C の配置位置だけが第 5 実施例と相違している。

具体的に、第 5 実施例の第 1 変形例では、第 29 図に示すように、光学系の瞳位置またはその近傍に配置されているので、位相補正部材 P C の作用により視野内の位相差を調整することが可能になる。一方、第 5 実施例の第 2 変形例では、第 30 図に示すように、位相補正部材 P C がウェハ W の近傍に配置されているので、瞳内の位相差補正を視野内の全域に亘って均等に行うことができる。

なお、上述の実施形態では、複屈折性の光学材料として蛍石を用いているが、これに限定されることなく、たとえばフッ化バリウム（ BaF_2 ）などを用いることもできる。この場合、フッ化バリウム（ BaF_2 ）などの結晶軸方位も本発明に従って決定されることが好ましい。

上述の実施形態の露光装置では、照明装置によってレチクル（マスク）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、

撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき第31図のフローチャートを参照して説明する。

先ず、第31図のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ303において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。

その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。なお、ステップ301～ステップ305では、ウェハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウェハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

また、本実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、第32図のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。第32図において、パターン形成工程401では、本実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には

多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程 4 0 2 へ移行する。

次に、カラーフィルター形成工程 4 0 2 では、R (Red)、G (Green)、B (Blue) に対応した 3 つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、または R、G、B の 3 本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程 4 0 2 の後に、セル組み立て工程 4 0 3 が実行される。セル組み立て工程 4 0 3 では、パターン形成工程 4 0 1 にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程 4 0 2 にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程 4 0 3 では、例えば、パターン形成工程 4 0 1 にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程 4 0 2 にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

その後、モジュール組み立て工程 4 0 4 にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

なお、上述の実施形態では、露光装置に搭載される投影光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の一般的な投影光学系に対して本発明を適用することもできる。また、上述の実施形態では、193 nm の波長光を供給する ArF エキシマレーザー光源または 157 nm の波長光を供給する F₂ レーザー光源を用いているが、これに限定されることなく、たとえば 200 nm 以下の波長光を供給する他の適当な光源を用いることもできる。

以上説明したように、本発明では、たとえば一軸性結晶で形成された平行平面板からなる位相補正部材の位相差付与作用により、投影光学系を構成する蛍石レンズのような結晶透過部材の複屈折の影響を良好に低減することができ、ひいては複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有する投影光学系を実現することができる。

したがって、本発明では、複屈折の影響を実質的に受けることなく良好な光学性能を有する本発明の投影光学系を用いた露光装置および露光方法において、高解像で高精度な投影露光を行うことができる。また、本発明の投影光学系を搭載した露光装置を用いて、高解像な投影光学系を介した高精度な投影露光により、良好なマイクロデバイスを製造することができる。

請 求 の 範 囲

1. 結晶材料で形成された結晶透過部材を含み、第1面の像を第2面に形成する投影光学系において、

前記結晶透過部材に起因して発生する互いに直交する偏光成分の間の位相差を補正するための光透過性の位相補正部材を備えていることを特徴とする投影光学系。

2. 請求の範囲第1項に記載の投影光学系において、

前記位相補正部材は、一軸性結晶で形成され且つその光学軸が光学系の光軸とほぼ一致するように形成されていることを特徴とする投影光学系。

3. 請求の範囲第1項または第2項に記載の投影光学系において、

前記結晶透過部材は、蛍石 (CaF_2) で形成され、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ または該結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ と光学的に等価な結晶軸と光学系の光軸とがほぼ一致するように形成された一対の光透過部材を有し、

前記位相補正部材は、常光に対する屈折率を N_o とし、異常光に対する屈折率を N_e とするとき、 $N_e < N_o$ を満足する負の一軸性結晶で形成され且つその光学軸が前記光軸とほぼ一致するように形成されていることを特徴とする投影光学系。

4. 請求の範囲第1項または第2項に記載の投影光学系において、

前記結晶透過部材のすべては、蛍石 (CaF_2) で形成され、結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ または該結晶軸 $[1\ 1\ 1]$ と光学的に等価な結晶軸と光学系の光軸とがほぼ一致するように形成され、

前記位相補正部材は、常光に対する屈折率を N_o とし、異常光に対する屈折率を N_e とするとき、 $N_e < N_o$ を満足する負の一軸性結晶で形成され且つその光学軸が前記光軸とほぼ一致するように形成されていることを特徴とする投影光学系。

系。

5. 請求の範囲第3項または第4項に記載の投影光学系において、

前記負の一軸性結晶は、水晶 (SiO_2) またはライカフ (LiCaAlF_6) であることを特徴とする投影光学系。

6. 請求の範囲第1項または第2項に記載の投影光学系において、

前記結晶透過部材は、蛍石 (CaF_2) で形成され、結晶軸 $[100]$ または該結晶軸 $[100]$ と光学的に等価な結晶軸と光学系の光軸とがほぼ一致するように形成された一対の光透過部材を有し、

前記位相補正部材は、常光に対する屈折率を N_o とし、異常光に対する屈折率を N_e とするとき、 $N_e > N_o$ を満足する正の一軸性結晶で形成され且つその光学軸が前記光軸とほぼ一致するように形成されていることを特徴とする投影光学系。

7. 請求の範囲第6項に記載の投影光学系において、

前記正の一軸性結晶は、フッ化マグネシウム (MgF_2) であることを特徴とする投影光学系。

8. 請求の範囲第1項または第2項に記載の投影光学系において、

前記結晶透過部材は、蛍石 (CaF_2) で形成され、結晶軸 $[110]$ または該結晶軸 $[110]$ と光学的に等価な結晶軸と光学系の光軸とがほぼ一致するように形成された一対の光透過部材を有し、

前記位相補正部材は、常光に対する屈折率を N_o とし、異常光に対する屈折率を N_e とするとき、 $N_e < N_o$ を満足する負の一軸性結晶で形成され且つその光学軸が前記光軸とほぼ一致するように形成されていることを特徴とする投影光学系。

9. 請求の範囲第8項に記載の投影光学系において、

前記負の一軸性結晶は、水晶 (SiO_2) またはライカフ (LiCaAlF_6) であることを特徴とする投影光学系。

10. 請求の範囲第1項乃至第9項のいずれか1項に記載の投影光学系において、

前記位相補正部材は、前記第1面の近傍、前記第2面の近傍、あるいは前記第1面と光学的に共役な面の近傍に配置されていることを特徴とする投影光学系。

11. 請求の範囲第1項乃至第10項のいずれか1項に記載の投影光学系において、

前記位相補正部材は、光学系の瞳位置またはその近傍に配置されていることを特徴とする投影光学系。

12. 請求の範囲第1項乃至第11項のいずれか1項に記載の投影光学系において、

前記位相補正部材を複数個備えていることを特徴とする投影光学系。

13. 請求の範囲第1項乃至第12項のいずれか1項に記載の投影光学系において、

少なくとも1つの凹面反射鏡をさらに備え、

前記凹面反射鏡は、前記凹面反射鏡へ向かう光線と前記凹面反射鏡から反射される光線とが通過する往復光路を形成し、

前記位相補正部材は、前記往復光路中に配置されていることを特徴とする投影光学系。

14. 請求の範囲第13項に記載の投影光学系において、

前記凹面反射鏡は、ほぼ等倍に用いられ、且つ光学系の瞳位置またはその近傍

に配置されていることを特徴とする投影光学系。

15. 請求の範囲第1項乃至第14項のいずれか1項に記載の投影光学系において、

前記投影光学系は、前記第1面と前記第2面との間の光路中に前記第1面の中間像を形成する再結像光学系であり、

前記位相補正部材は、前記中間像の形成位置の近傍に配置されていることを特徴とする投影光学系。

16. 請求の範囲第1項乃至第15項のいずれか1項に記載の投影光学系において、

前記投影光学系は、1つの凹面反射鏡を備え、前記第1面と前記第2面との間の光路中に前記第1面の中間像を形成する2回結像型の反射屈折光学系であり、

前記凹面反射鏡は、前記第1面と前記中間像との間の光路中に配置されていることを特徴とする投影光学系。

17. 請求の範囲第1項乃至第15項のいずれか1項に記載の投影光学系において、

前記投影光学系は、1つの凹面反射鏡を備え、前記第1面と前記第2面との間の光路中に前記第1面の中間像を形成する2回結像型の反射屈折光学系であり、

前記投影光学系を構成するすべての光透過部材の光軸および前記凹面反射鏡の光軸は、互いにほぼ平行に設定されていることを特徴とする投影光学系。

18. 請求の範囲第1項乃至第15項のいずれか1項に記載の投影光学系において、

前記投影光学系は、1つの凹面反射鏡を備え、前記第1面と前記第2面との間の光路中に前記第1面の第1中間像および第2中間像を形成する3回結像型の反射屈折光学系であり、

前記凹面反射鏡は、前記第 1 中間像と前記第 2 中間像との間の光路中に配置されていることを特徴とする投影光学系。

19. 請求の範囲第 1 項乃至第 12 項のいずれか 1 項に記載の投影光学系において、

前記投影光学系を構成するすべての光学部材は、光透過部材であることを特徴とする投影光学系。

20. 請求の範囲第 1 項乃至第 19 項のいずれか 1 項に記載の投影光学系において、

前記投影光学系は、直線状に延びる単一光軸を有し、

前記投影光学系を構成するすべての光学部材は、その光軸が前記単一光軸とほぼ一致するように配置されていることを特徴とする投影光学系。

21. 請求の範囲第 1 項乃至第 20 項のいずれか 1 項に記載の投影光学系において、

前記投影光学系は、前記第 1 面側および前記第 2 面側の双方にほぼテレセントリックな光学系であり、

前記位相補正部材は、一軸性結晶で形成され且つその光学軸が光学系の光軸とほぼ一致するように形成され、平行平面状の形態を有することを特徴とする投影光学系。

22. 請求の範囲第 1 項乃至第 21 項のいずれか 1 項に記載の投影光学系において、

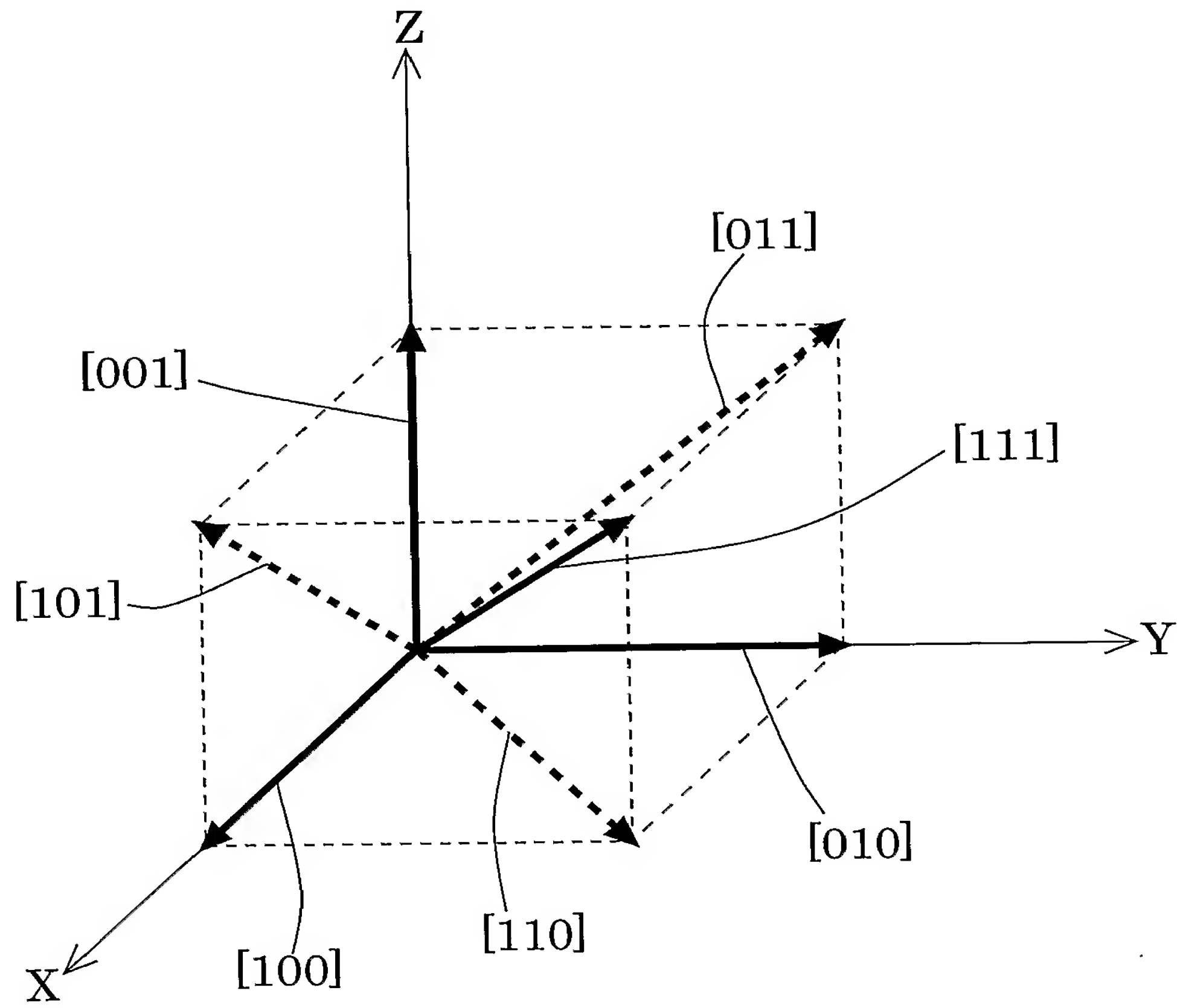
200 nm 以下の波長を有する光に基づいて前記第 1 面の像を前記第 2 面に形成することを特徴とする投影光学系。

23. 前記第 1 面に設定されたマスクを照明するための照明系と、前記マスク

に形成されたパターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に形成するための請求の範囲第 1 項乃至第 2 2 項のいずれか 1 項に記載の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

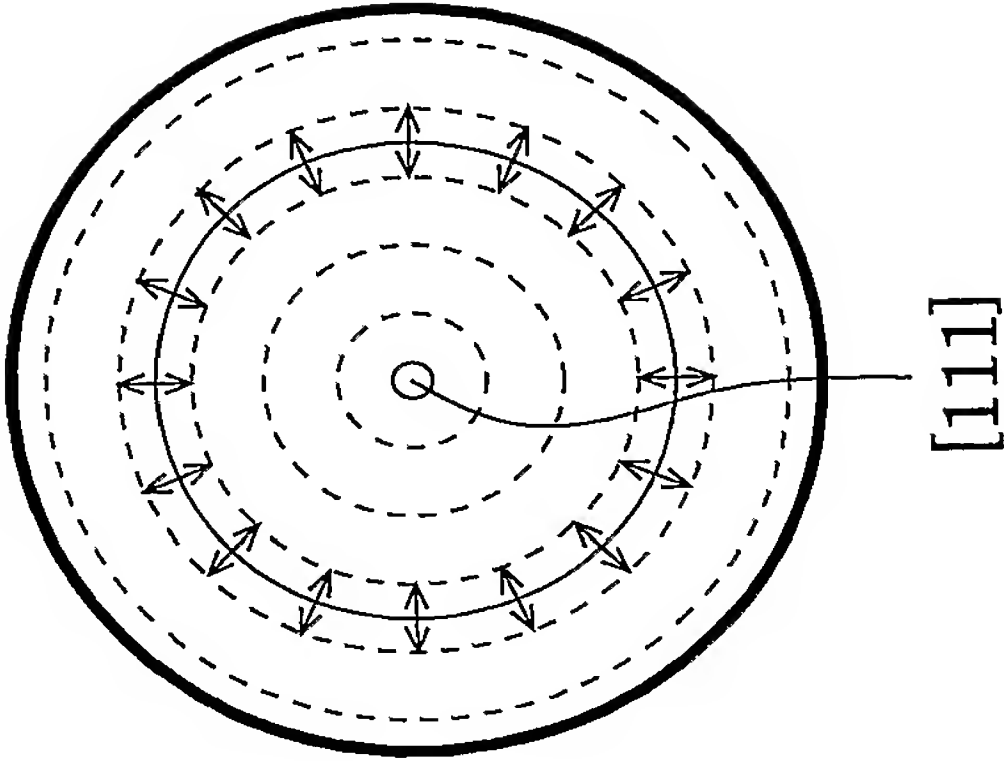
24. 前記第 1 面に設定されたマスクを照明し、請求の範囲第 1 項乃至第 2 2 項のいずれか 1 項に記載の投影光学系を介して前記マスクに形成されたパターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に投影露光することを特徴とする露光方法。

第 1 図

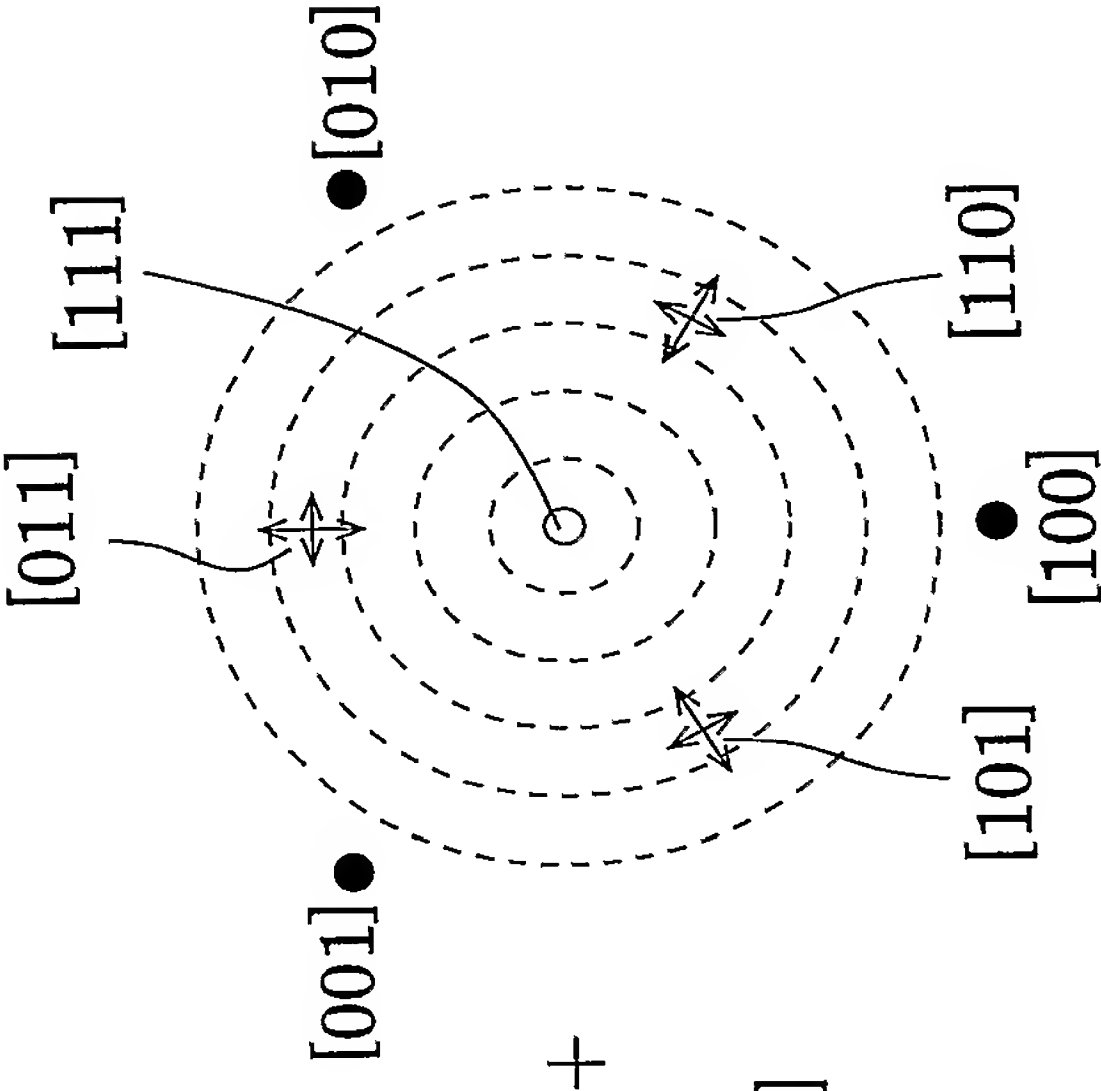


2 / 3 2

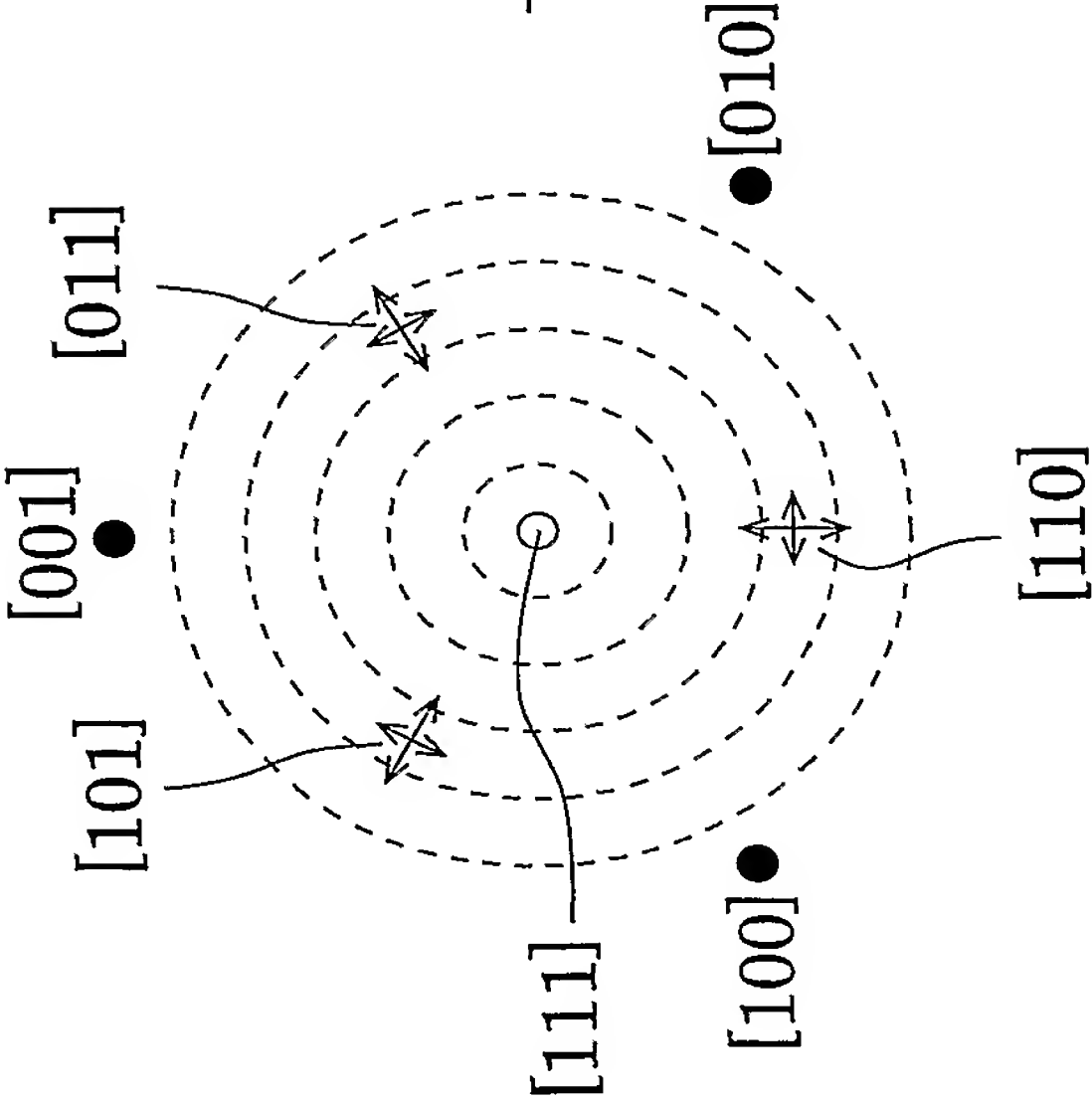
第 2 C 図



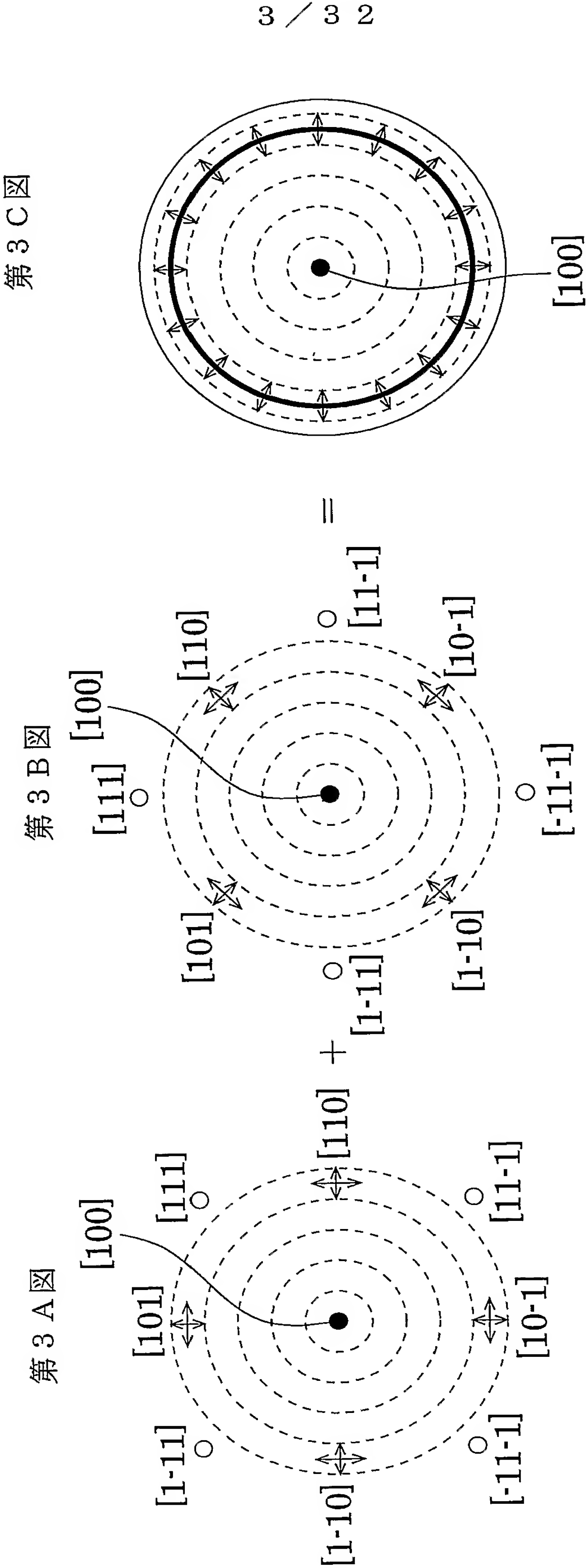
第 2 B 図



第 2 A 図

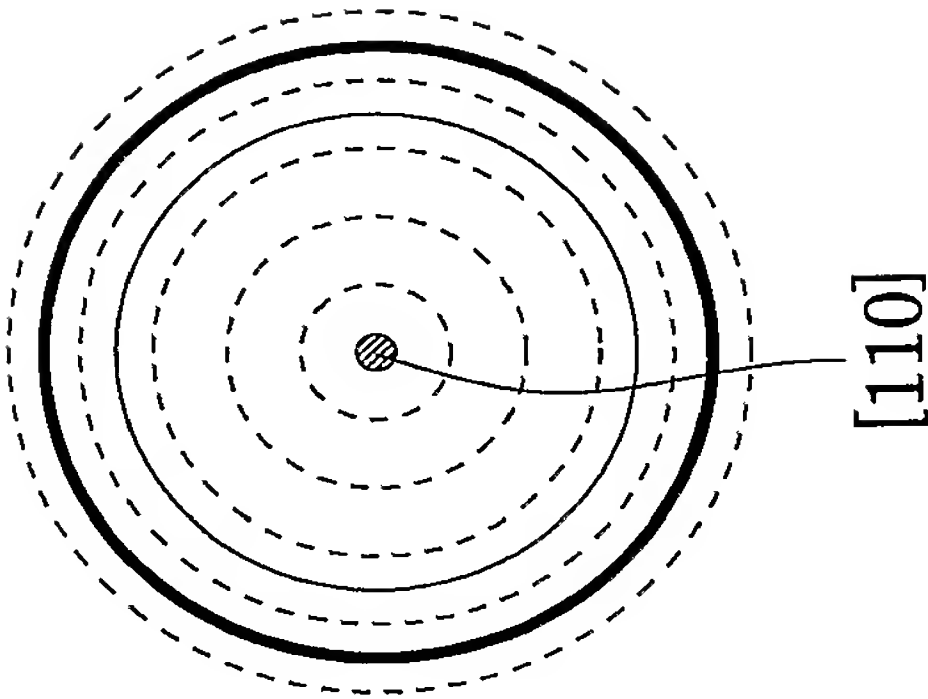


=



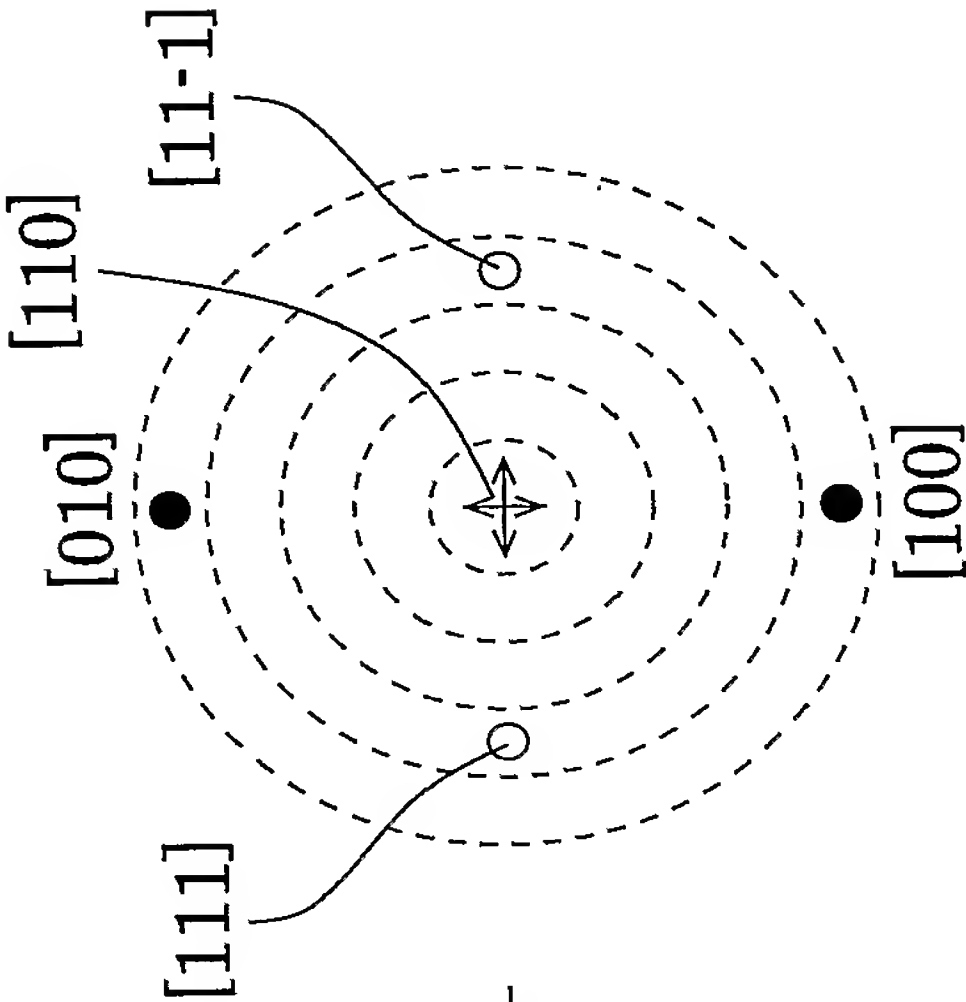
4 / 3 2

第 4 C 図



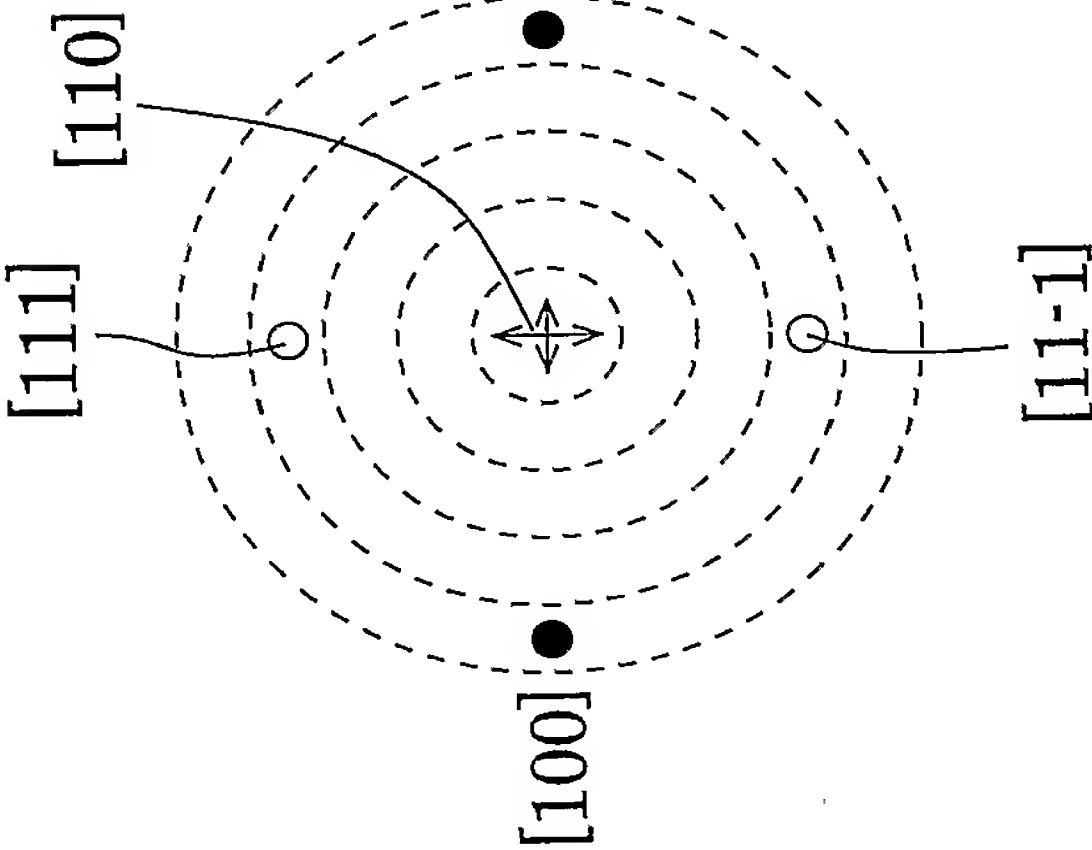
=

第 4 B 図



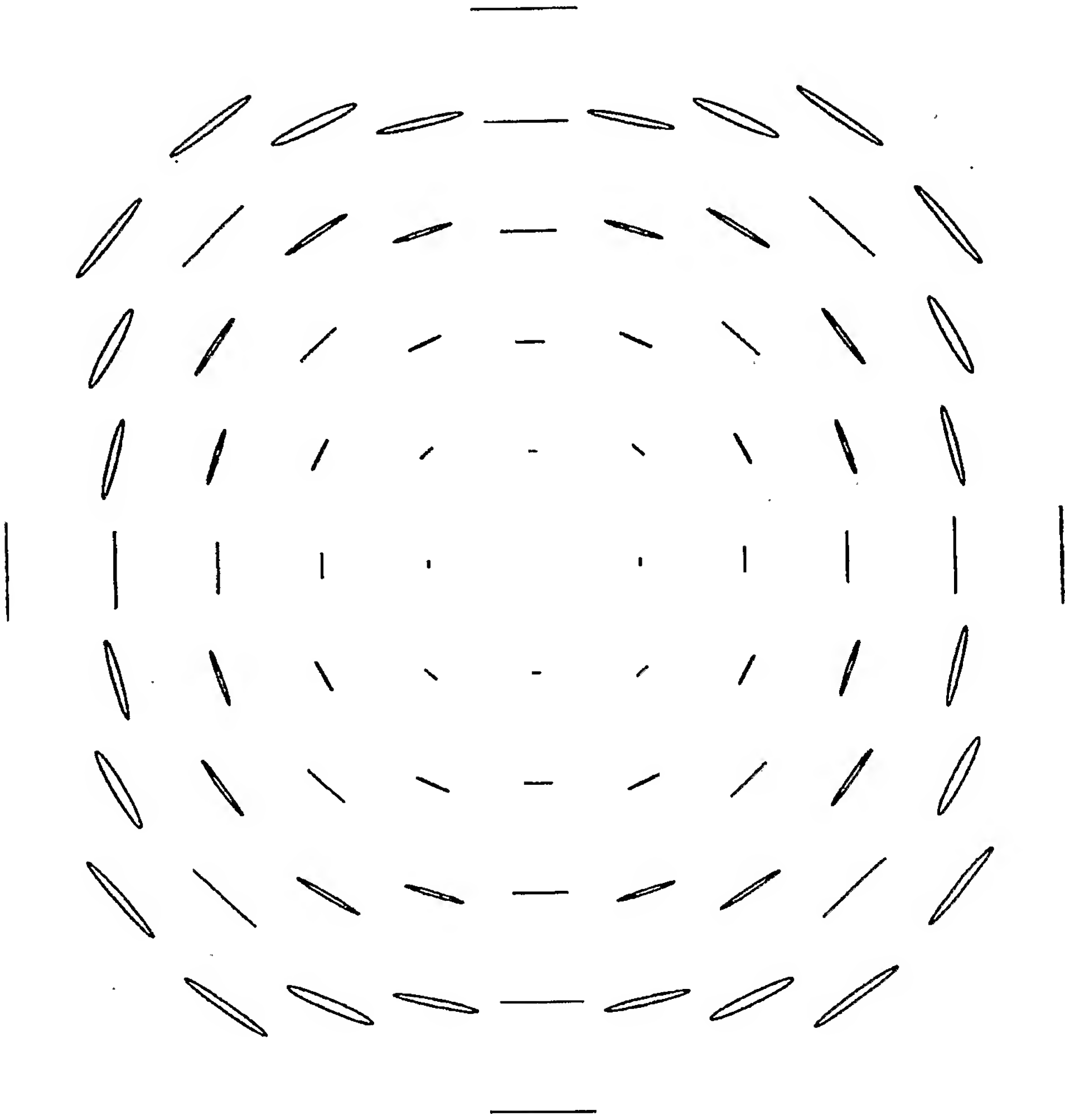
+

第 4 A 図



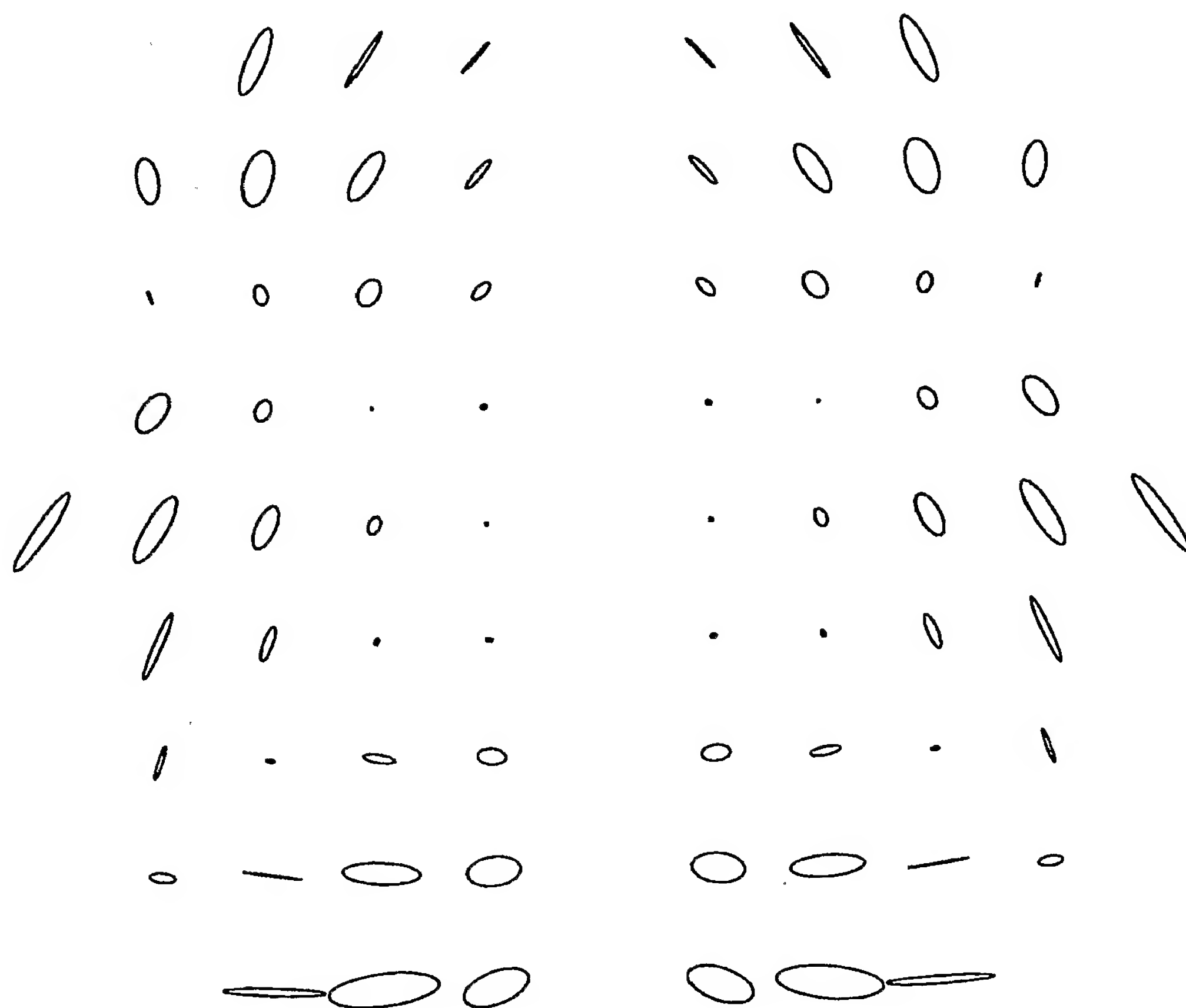
6 / 3 2

第 6 図



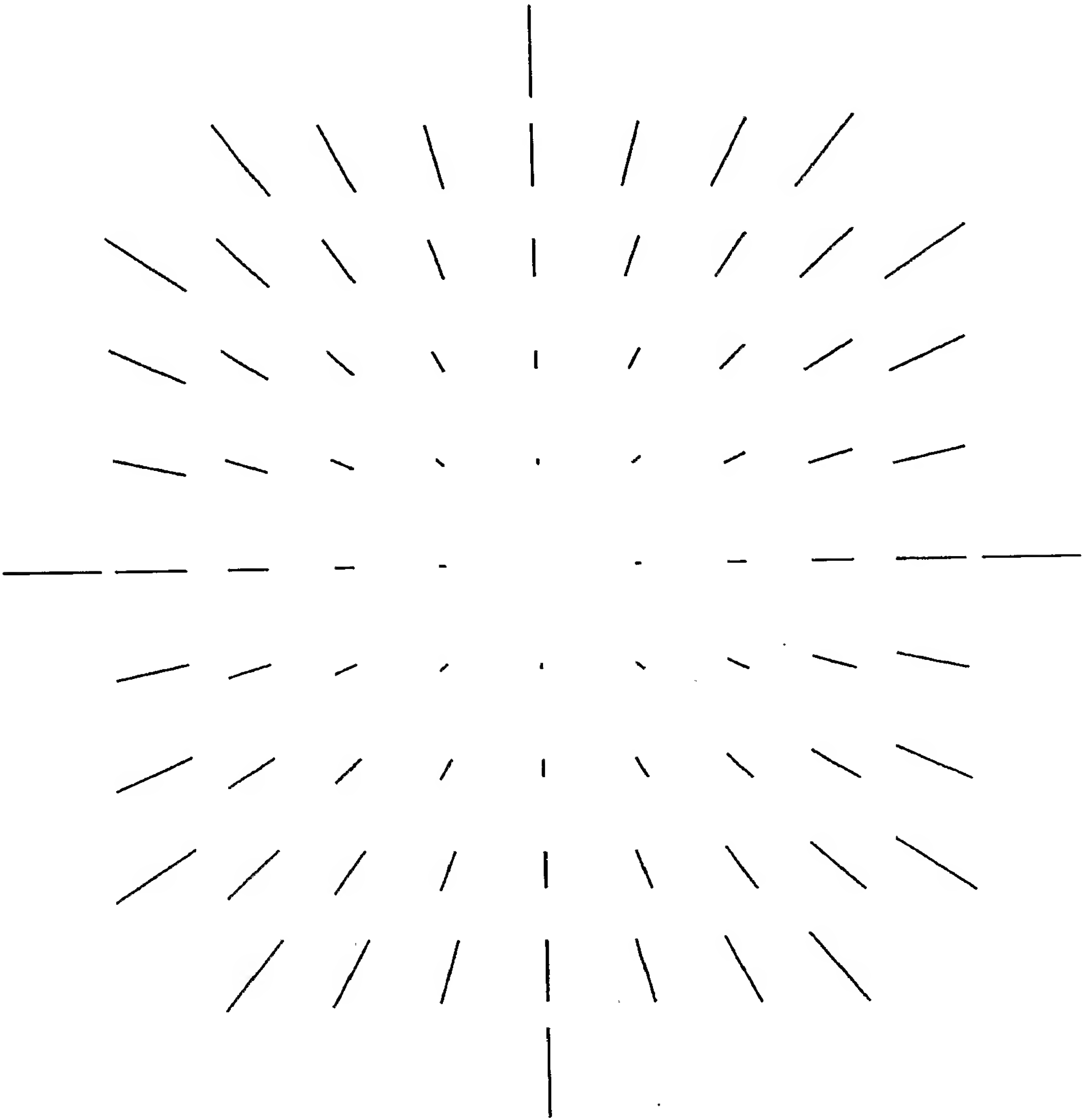
7 / 3 2

第 7 図



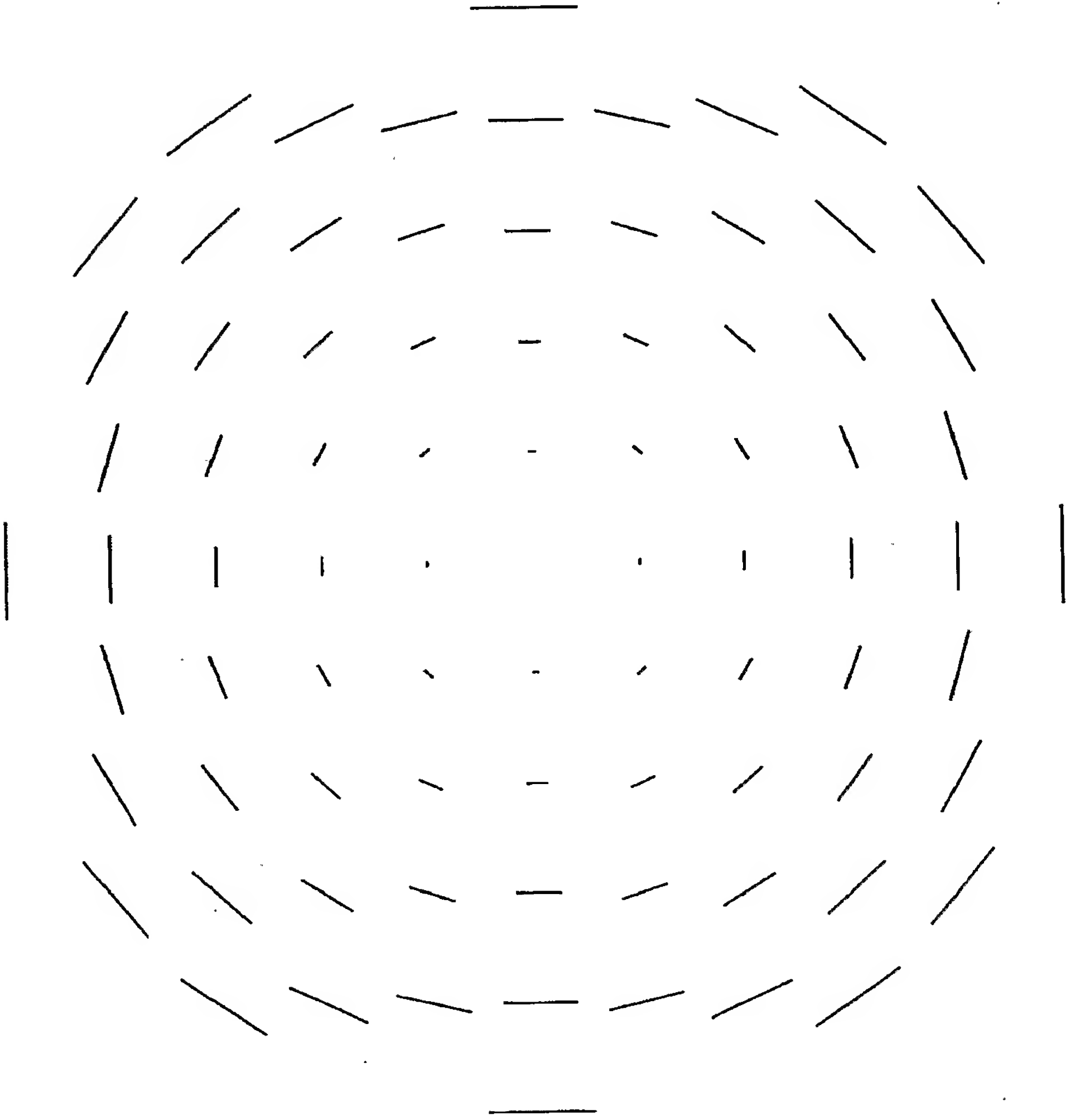
8 / 3 2

第 8 図



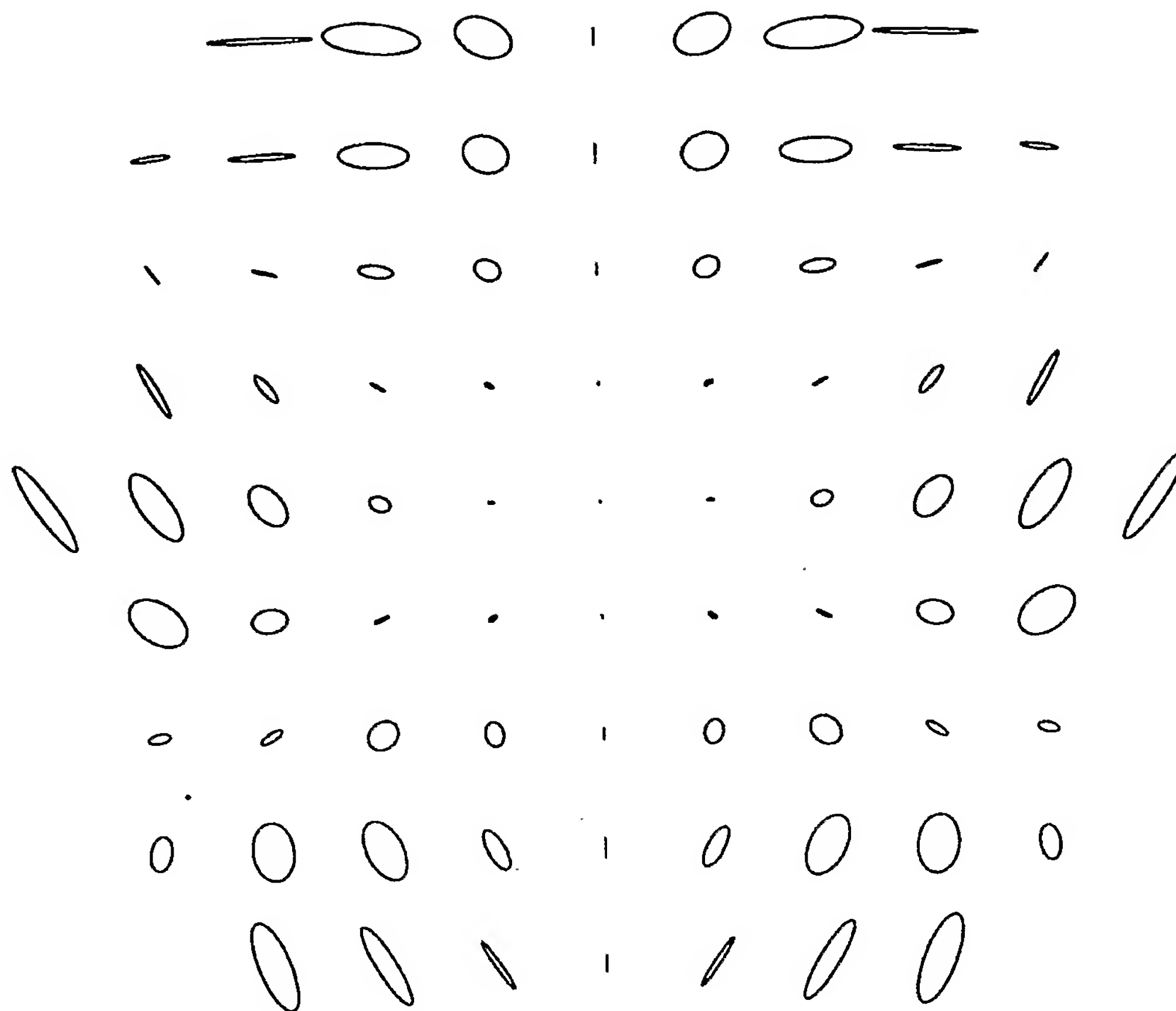
9 / 3 2

第 9 図



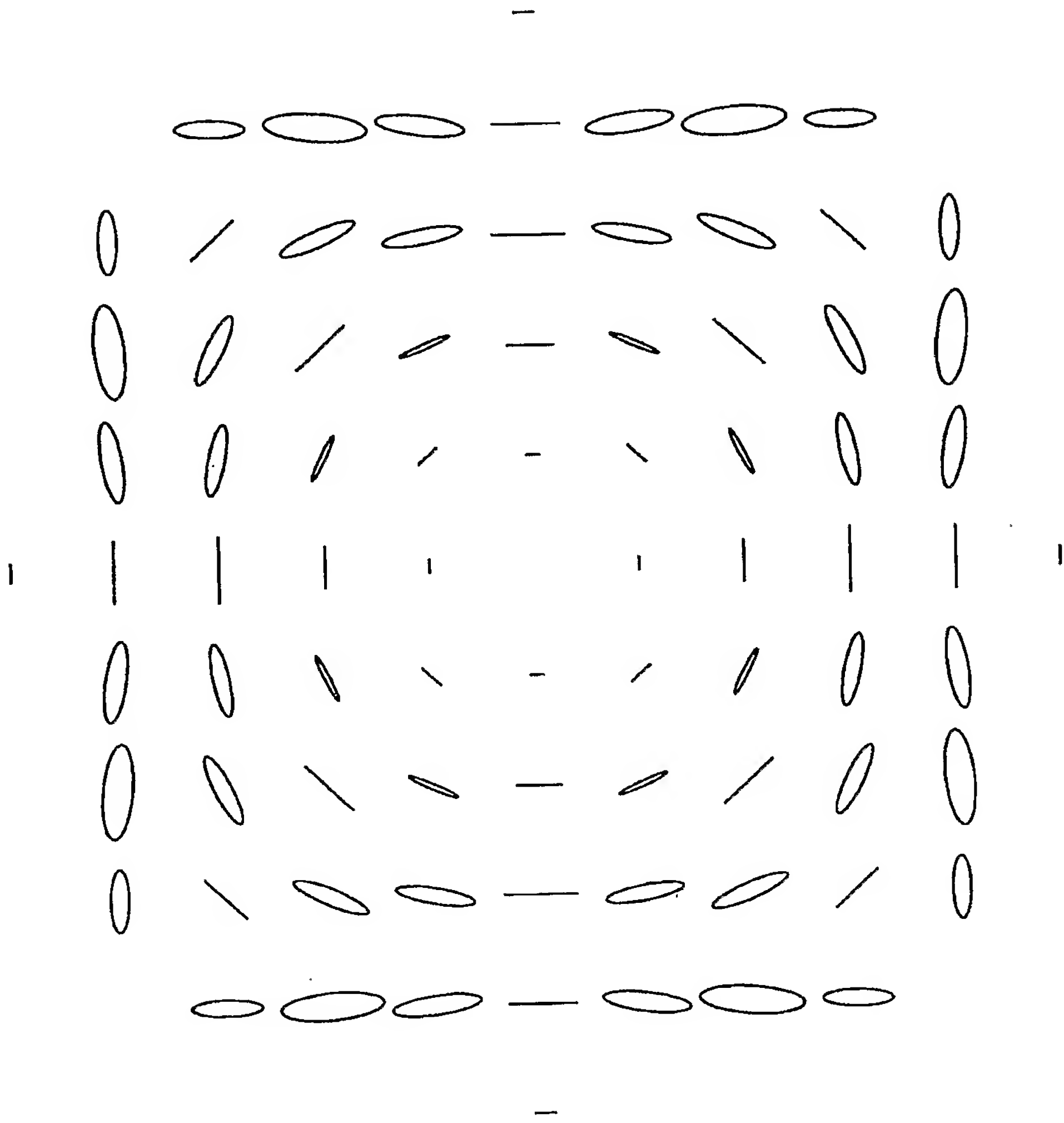
1 0 / 3 2

第 1 0 図



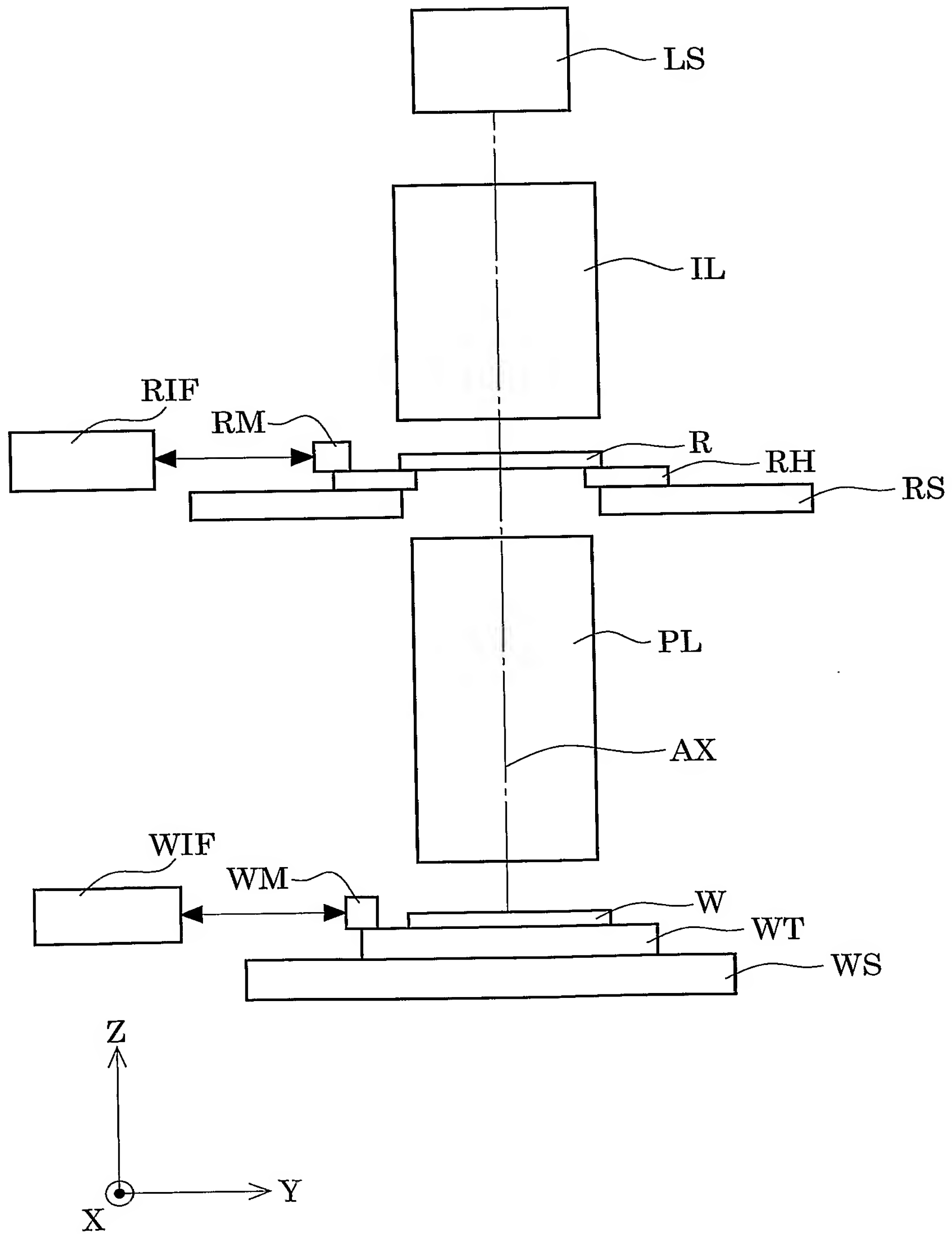
1 1 / 3 2

第 1 1 図



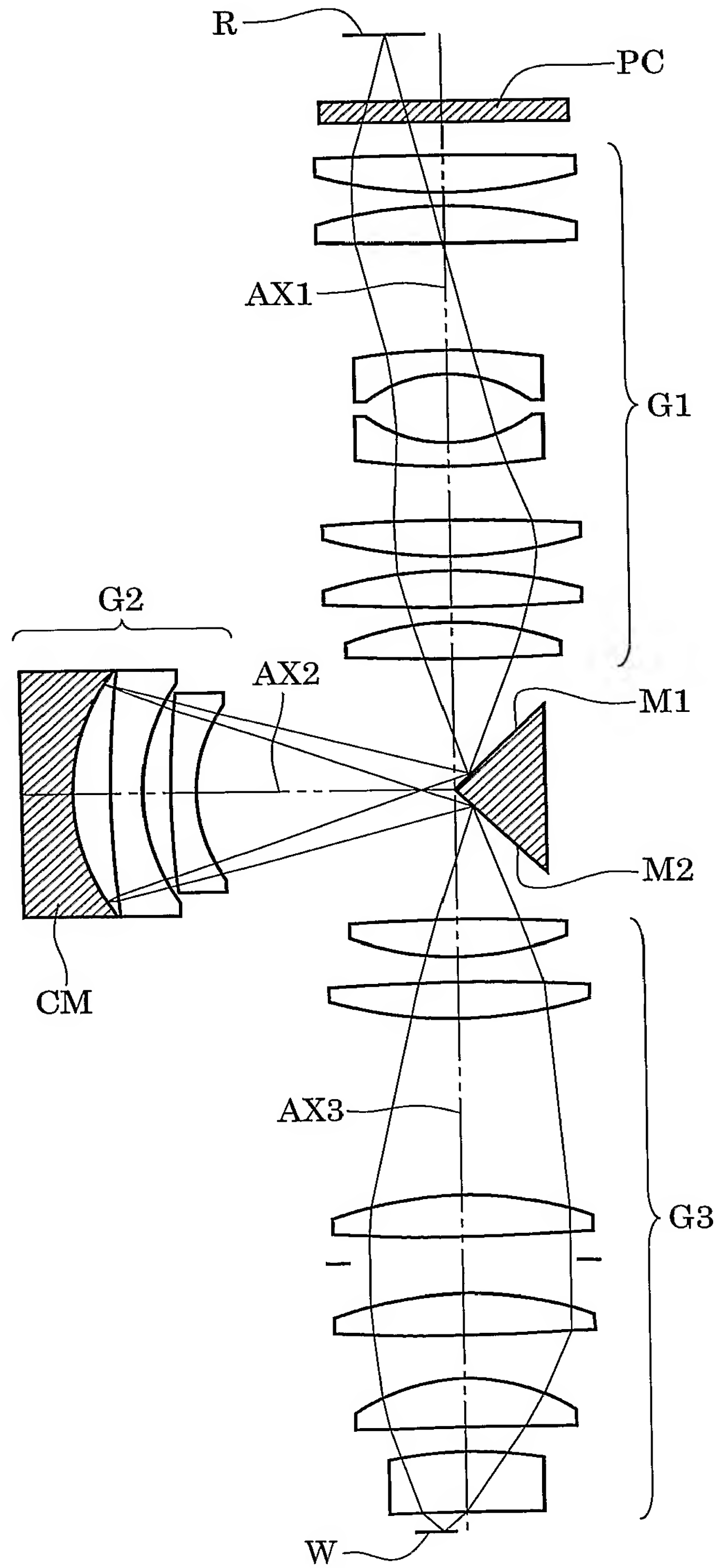
1 2 / 3 2

第 1 2 図



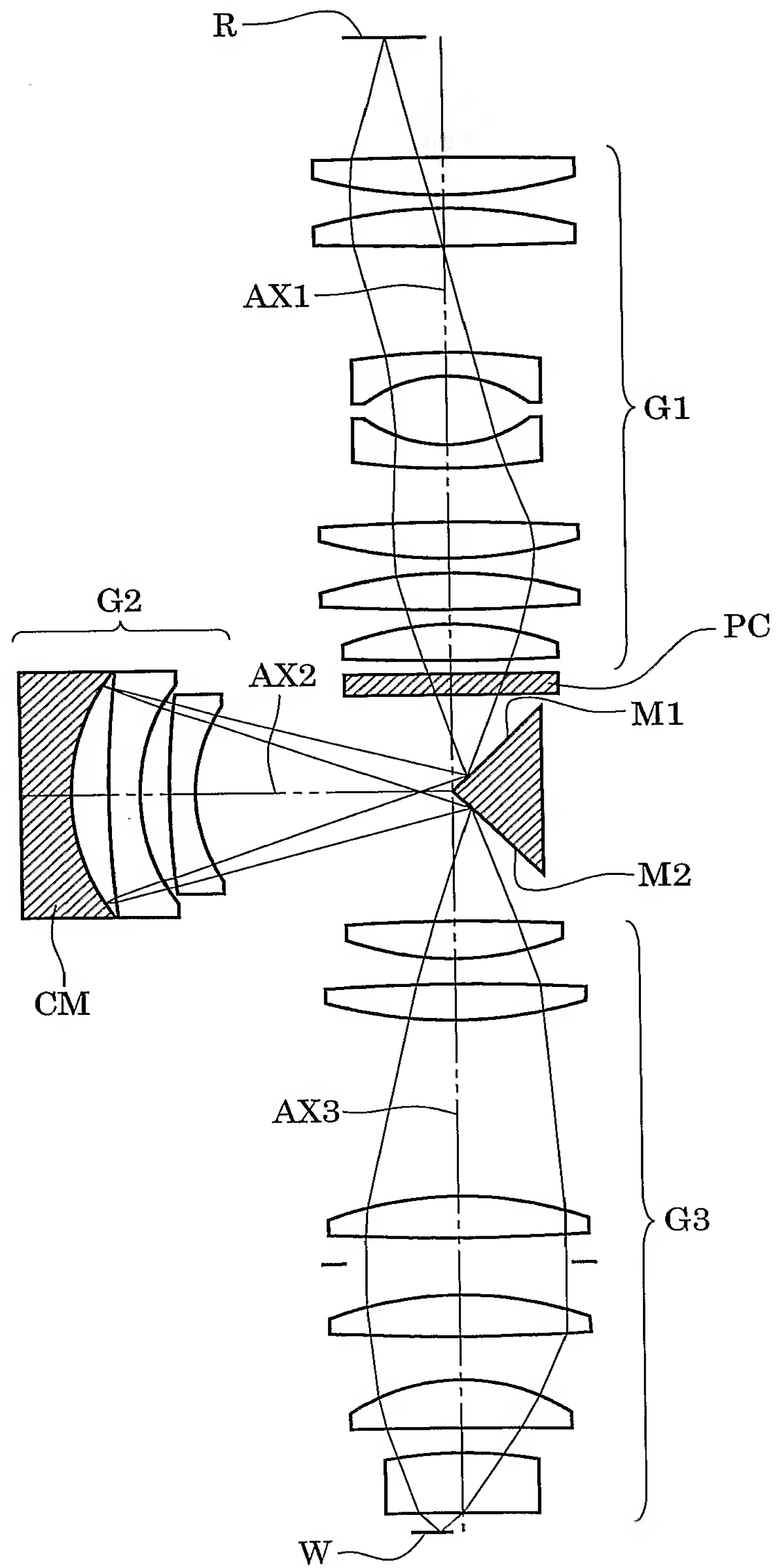
1 3 / 3 2

第 1 3 図



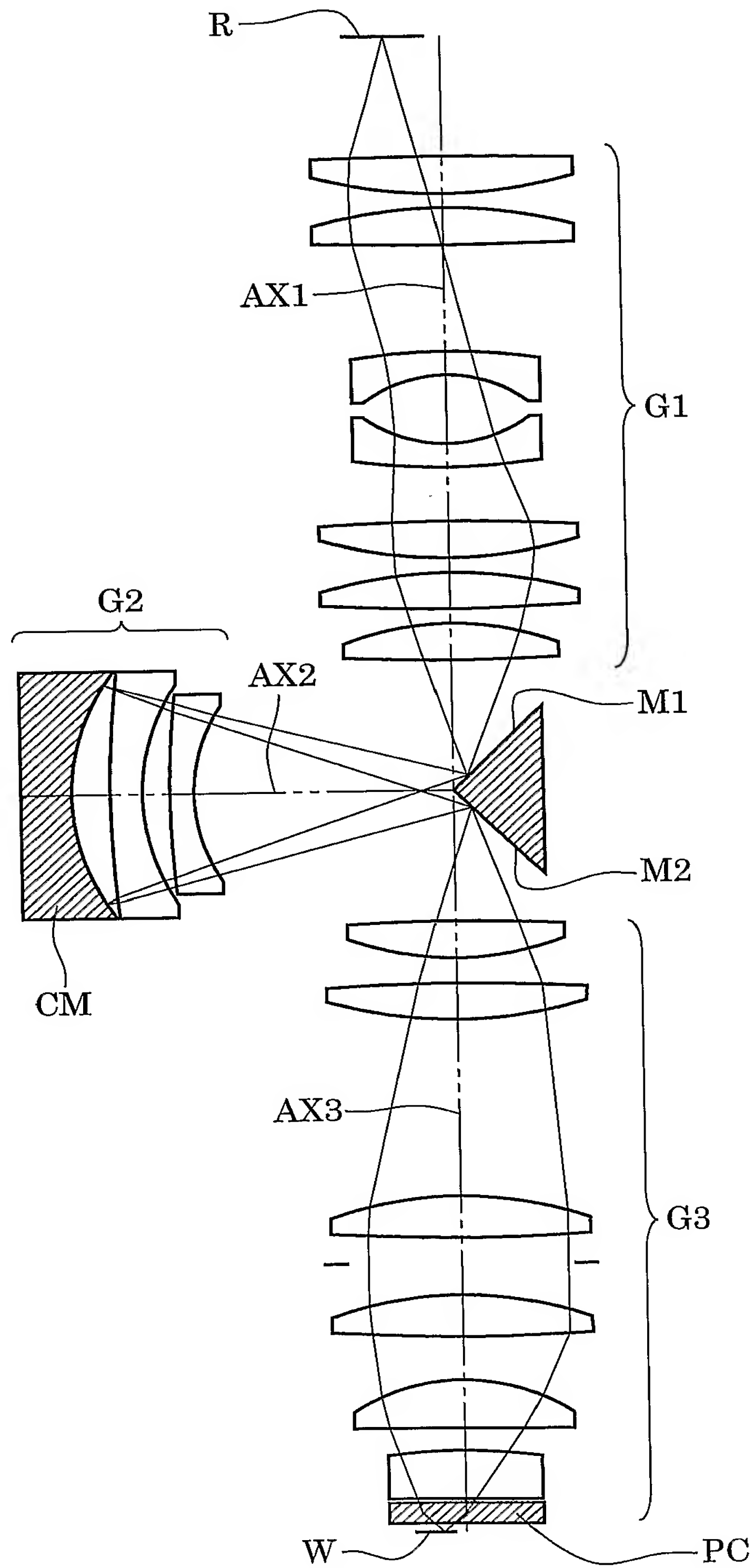
1 4 / 3 2

第 1 4 図

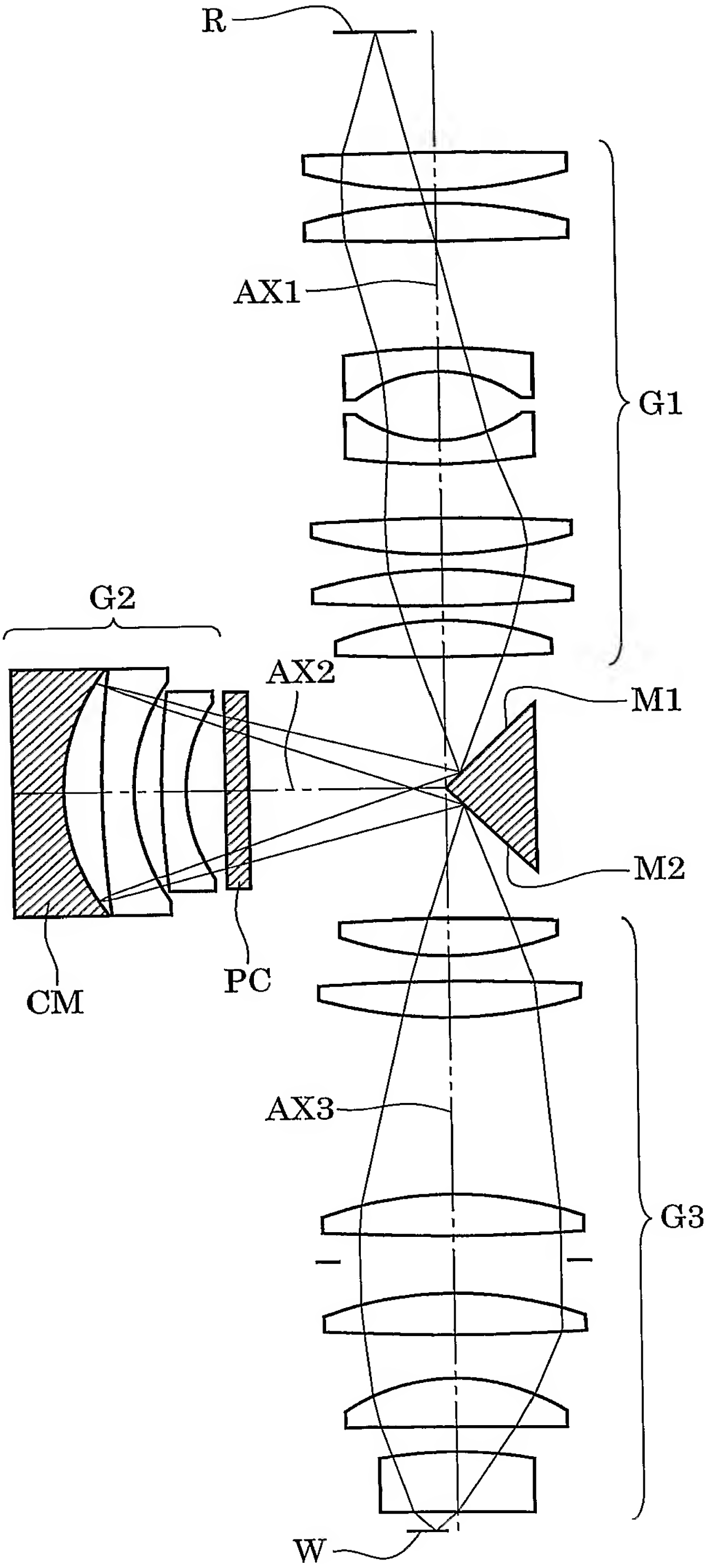


1 5 / 3 2

第 1 5 図

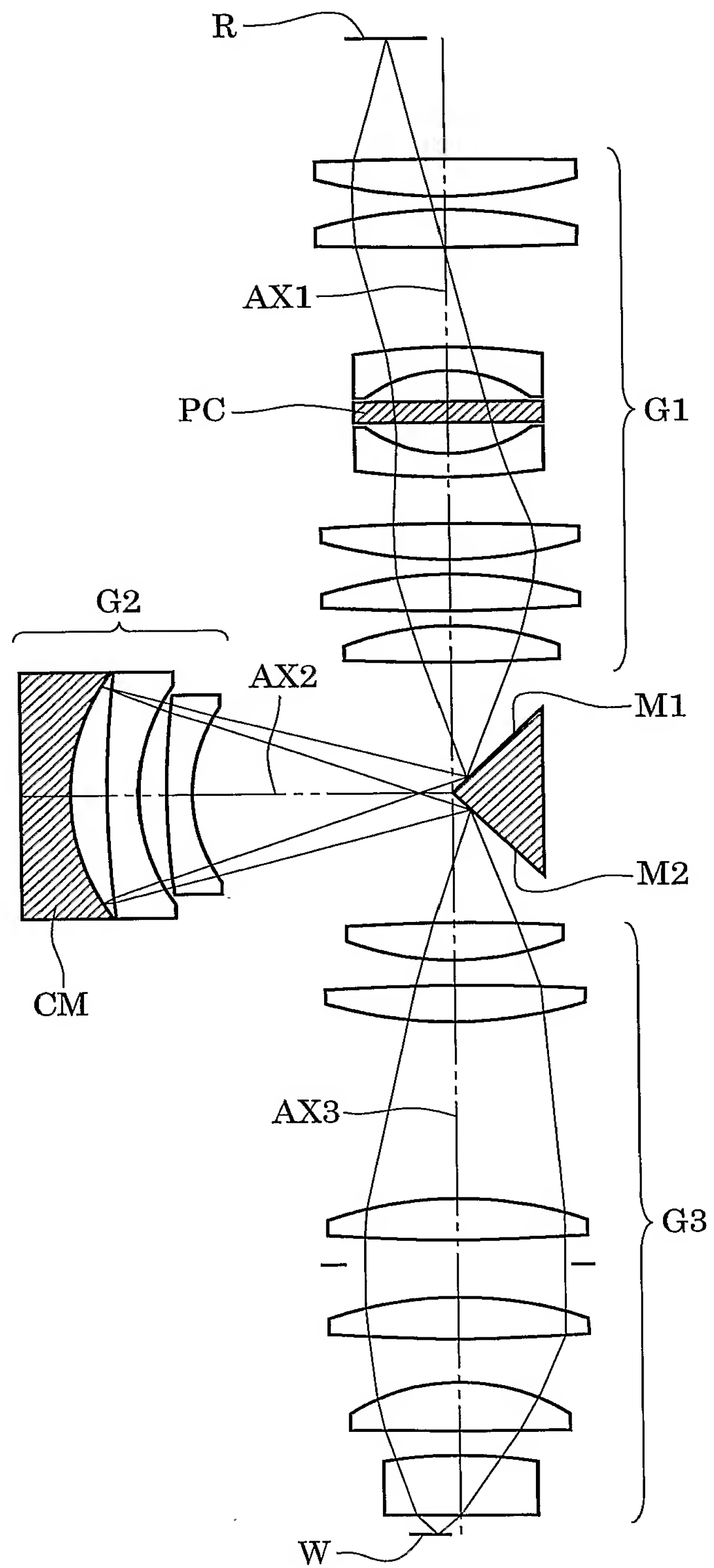


1 6 / 3 2
第 1 6 図



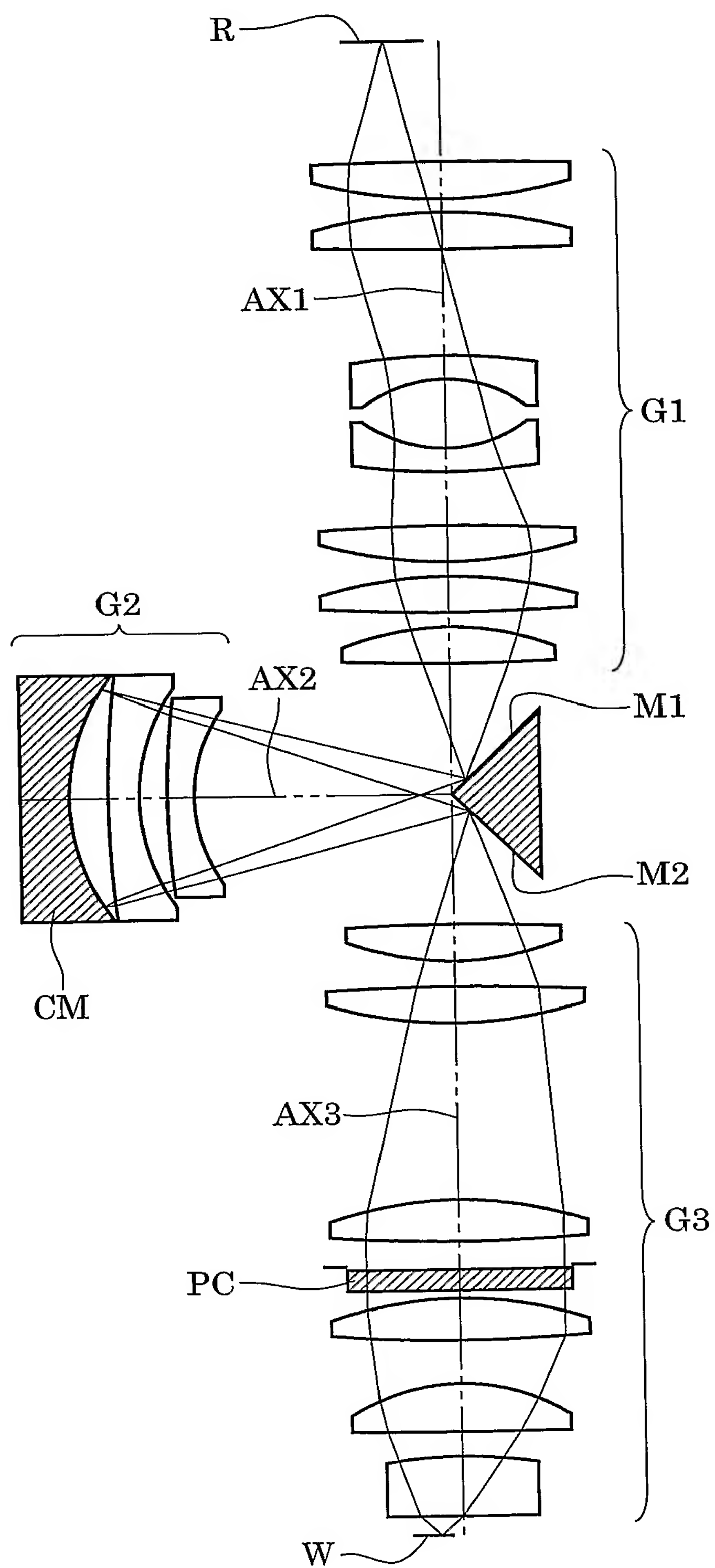
1 7 / 3 2

第 1 7 図



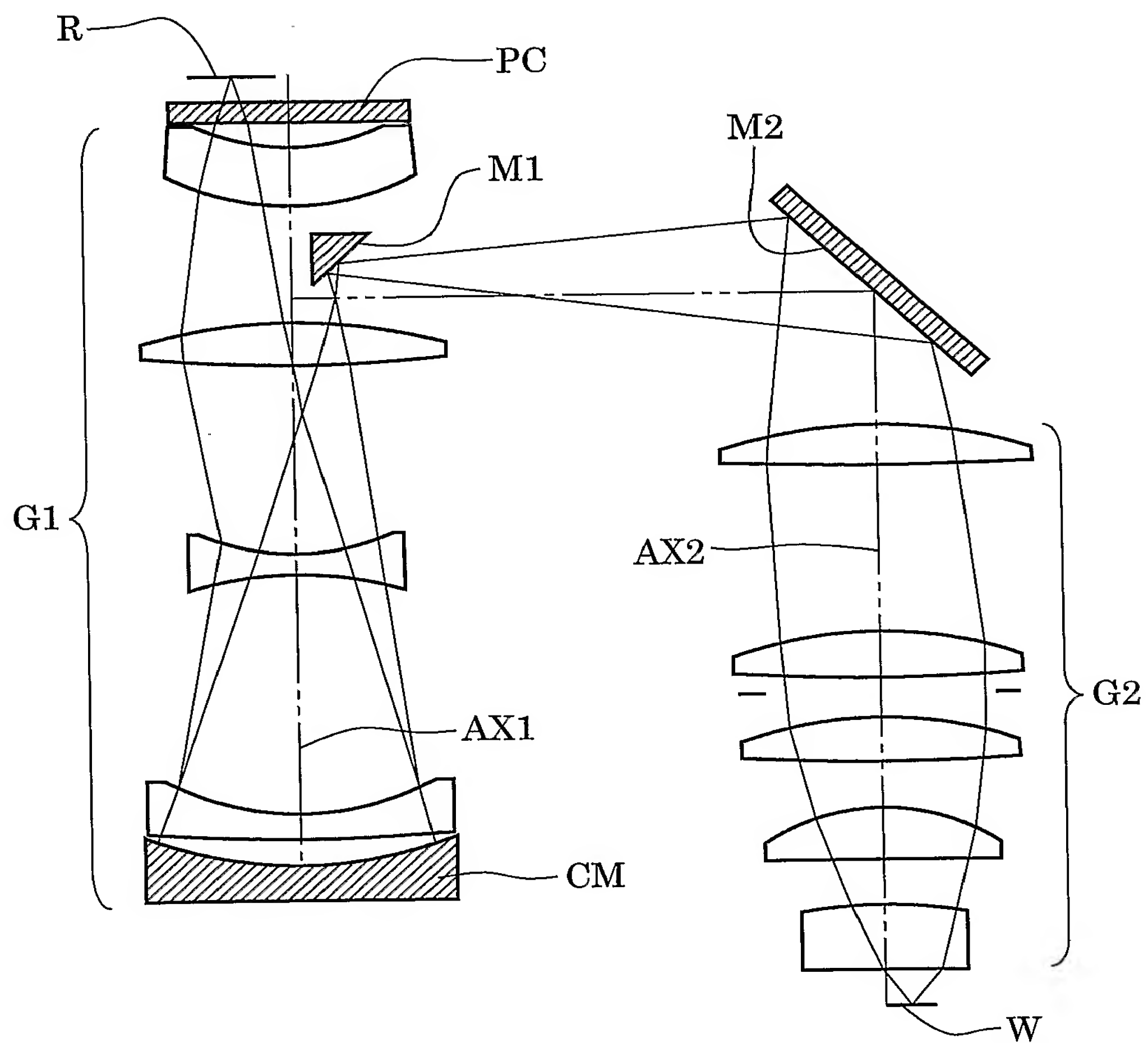
18 / 32

第 18 図



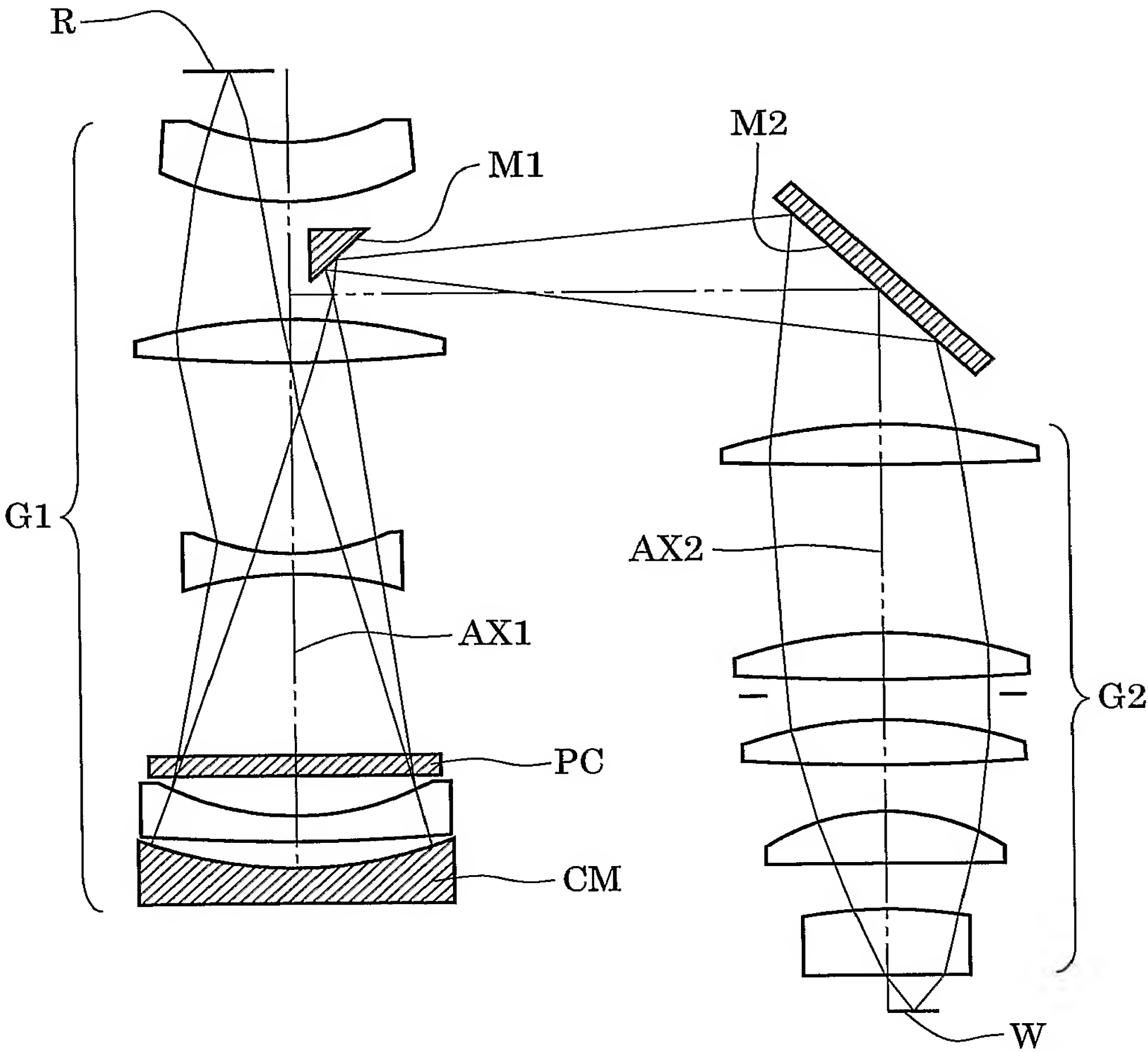
19 / 32

第 19 図



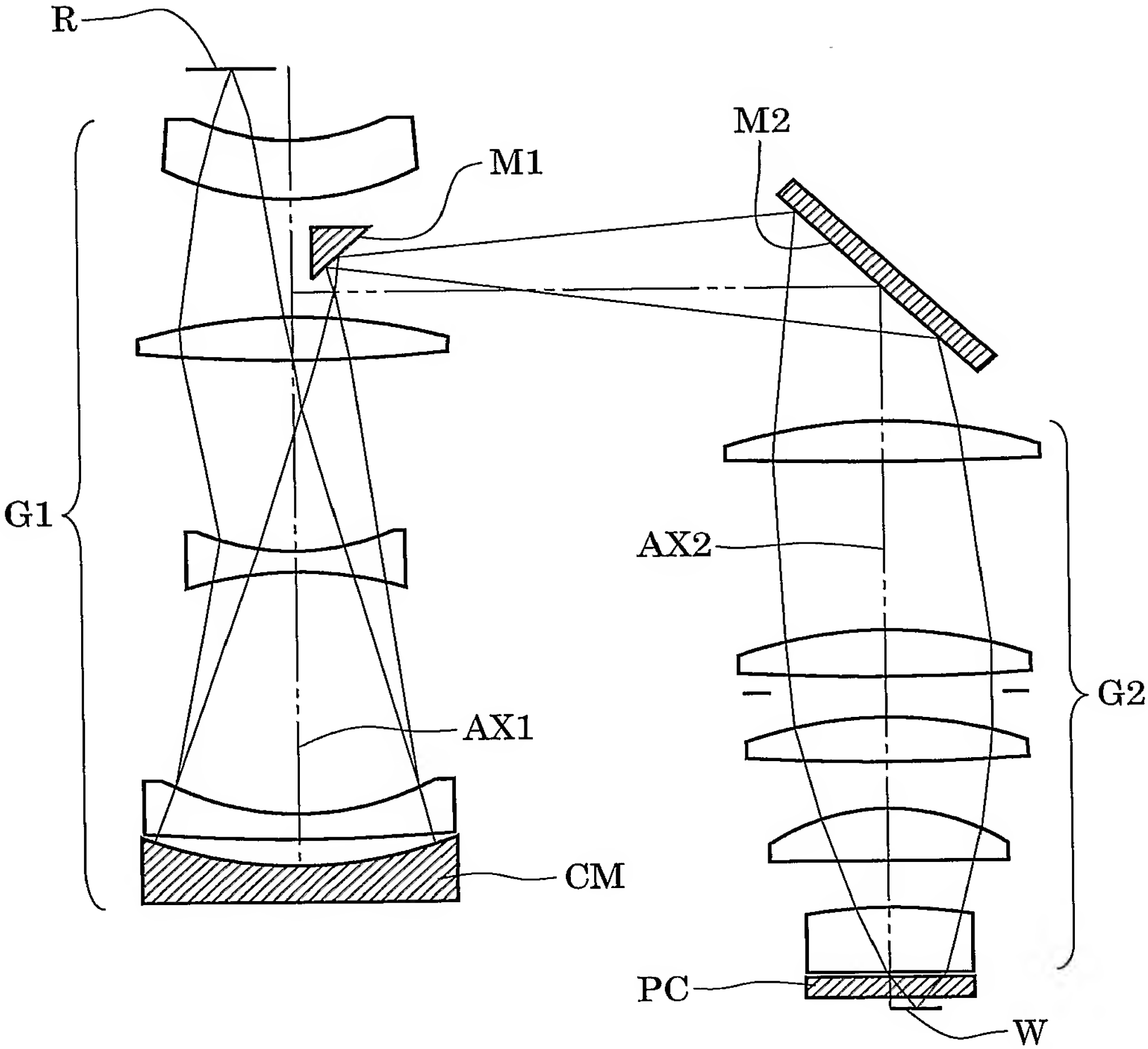
2 0 / 3 2

第 2 0 図



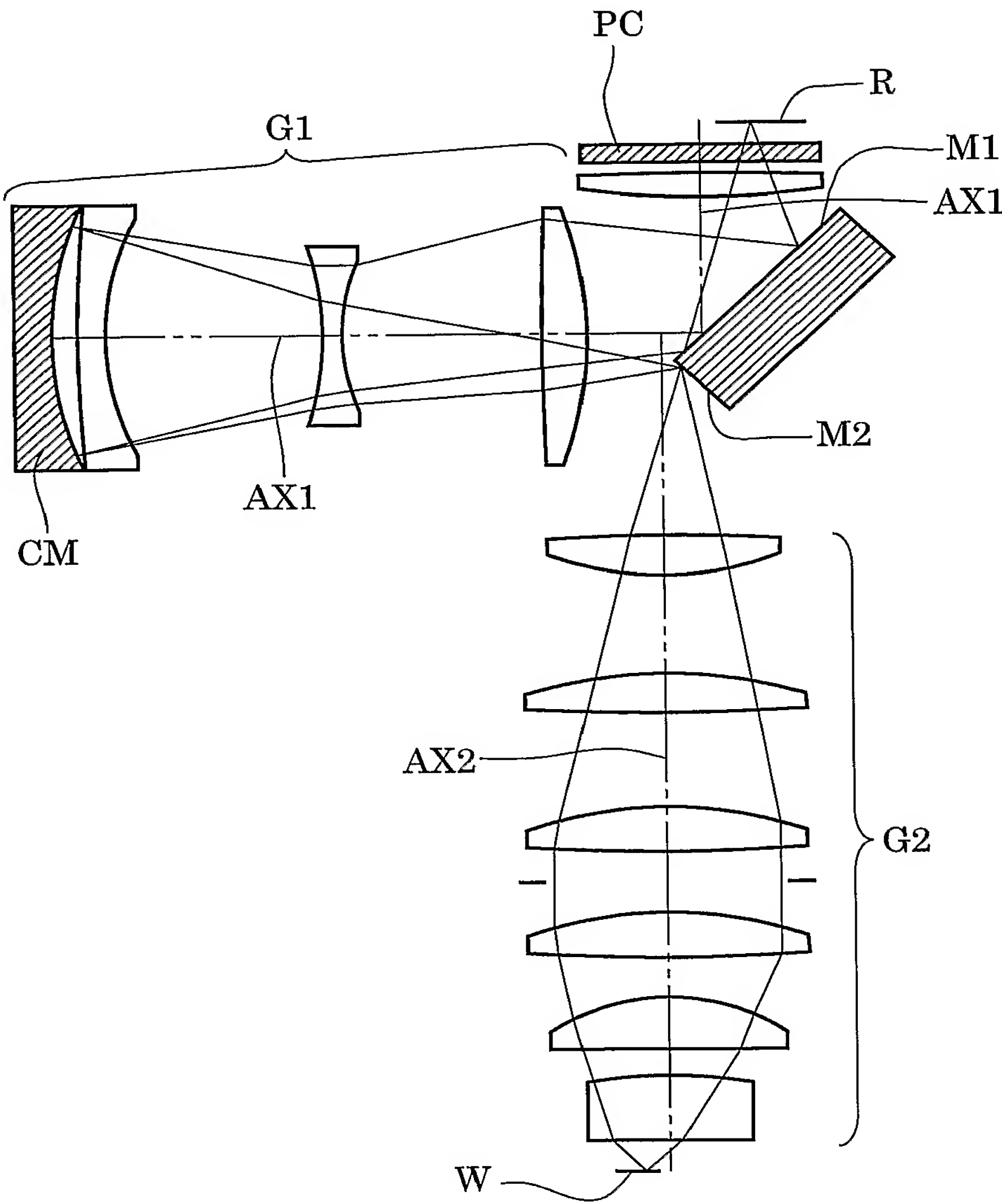
2 1 / 3 2

第 2 1 図



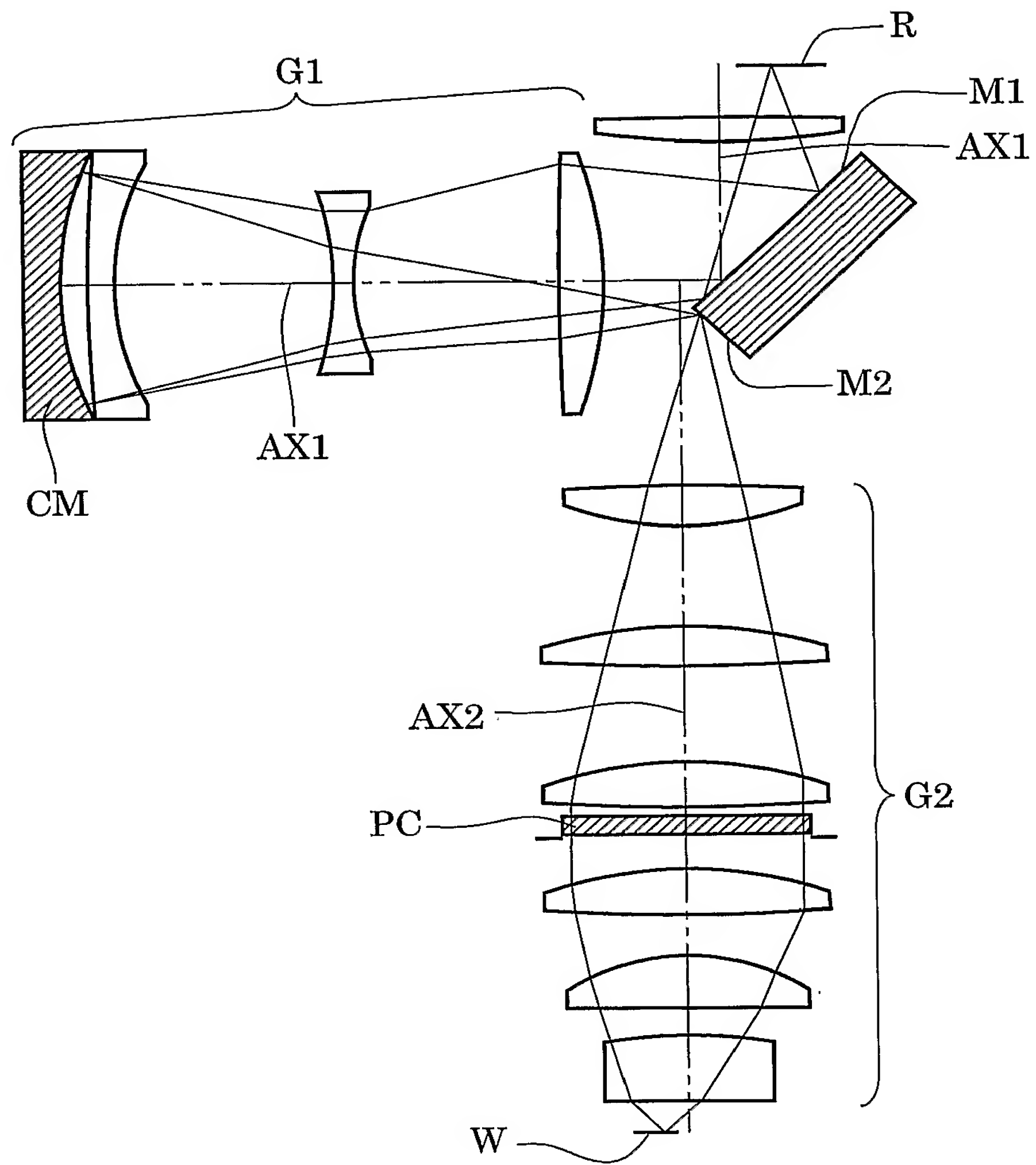
2 2 / 3 2

第 2 2 図



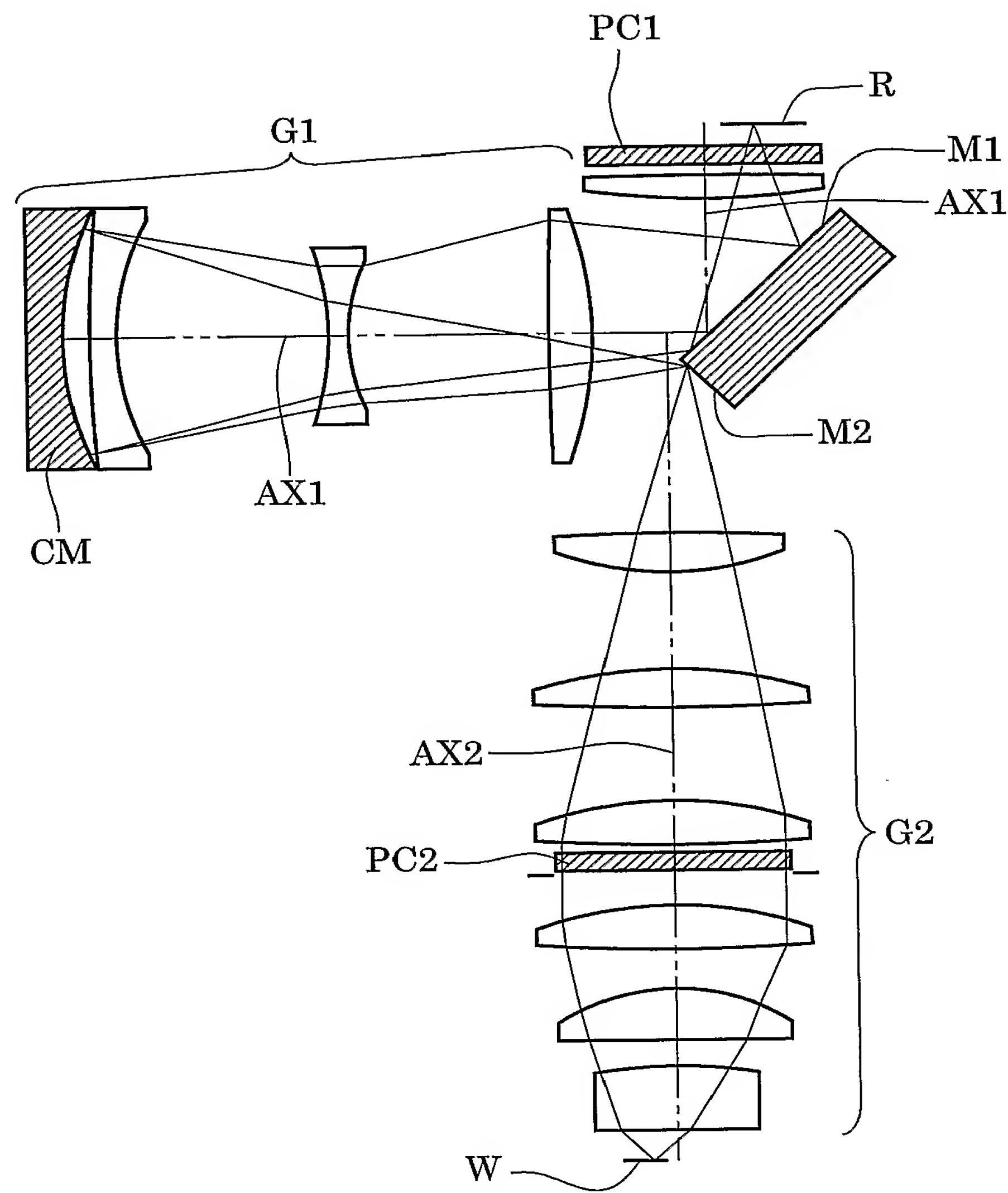
2 3 / 3 2

第 2 3 図



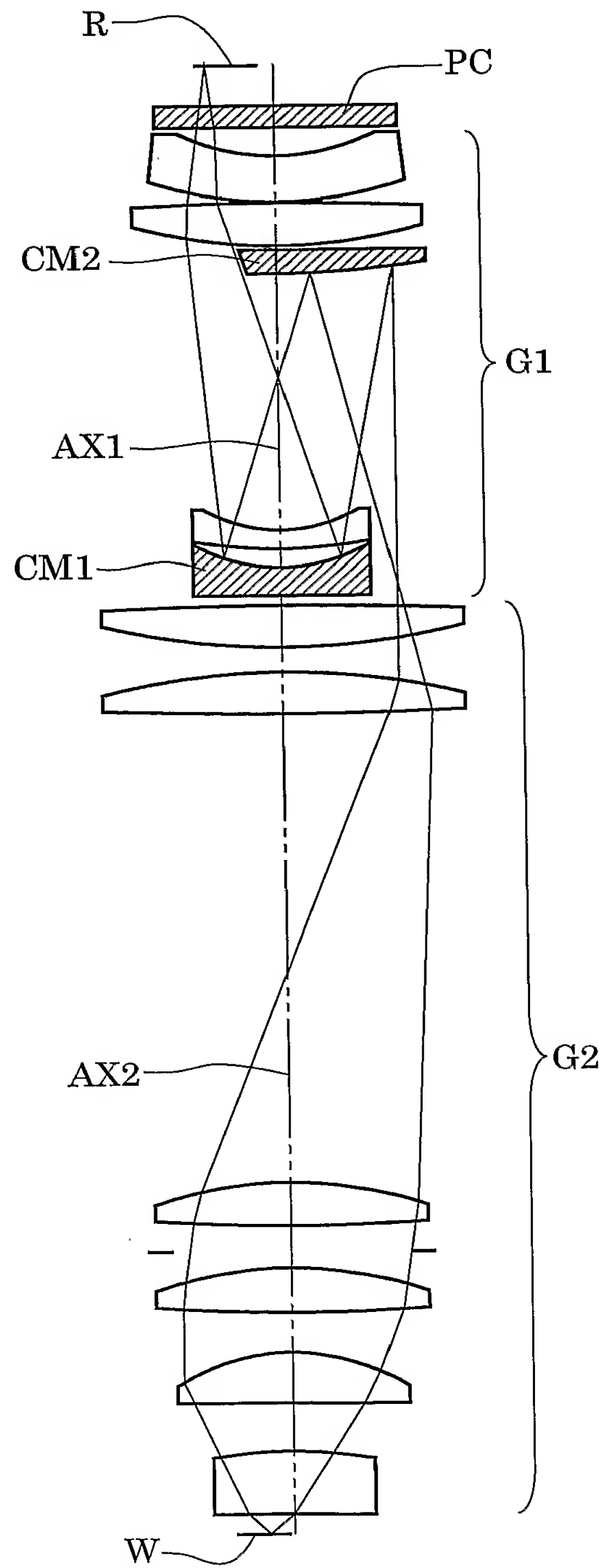
2 4 / 3 2

第 2 4 図



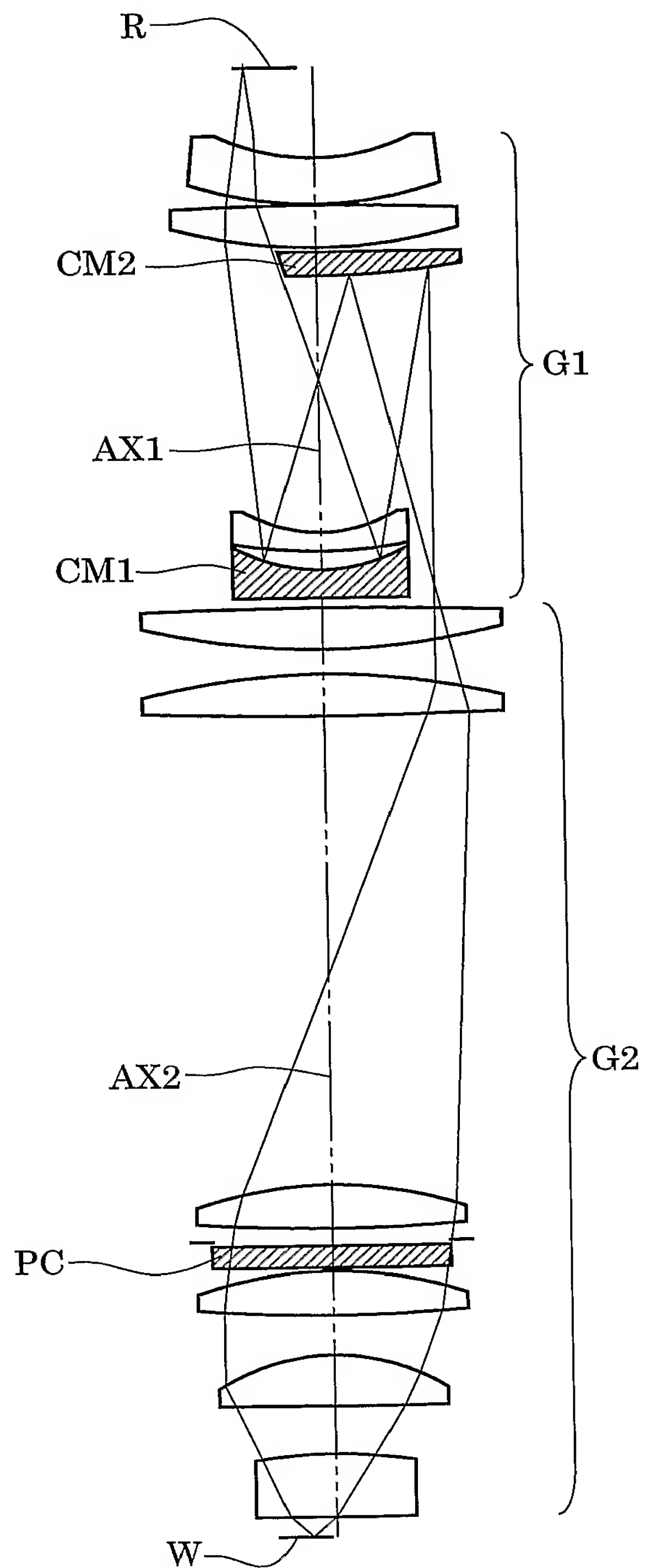
2 5 / 3 2

第 2 5 図



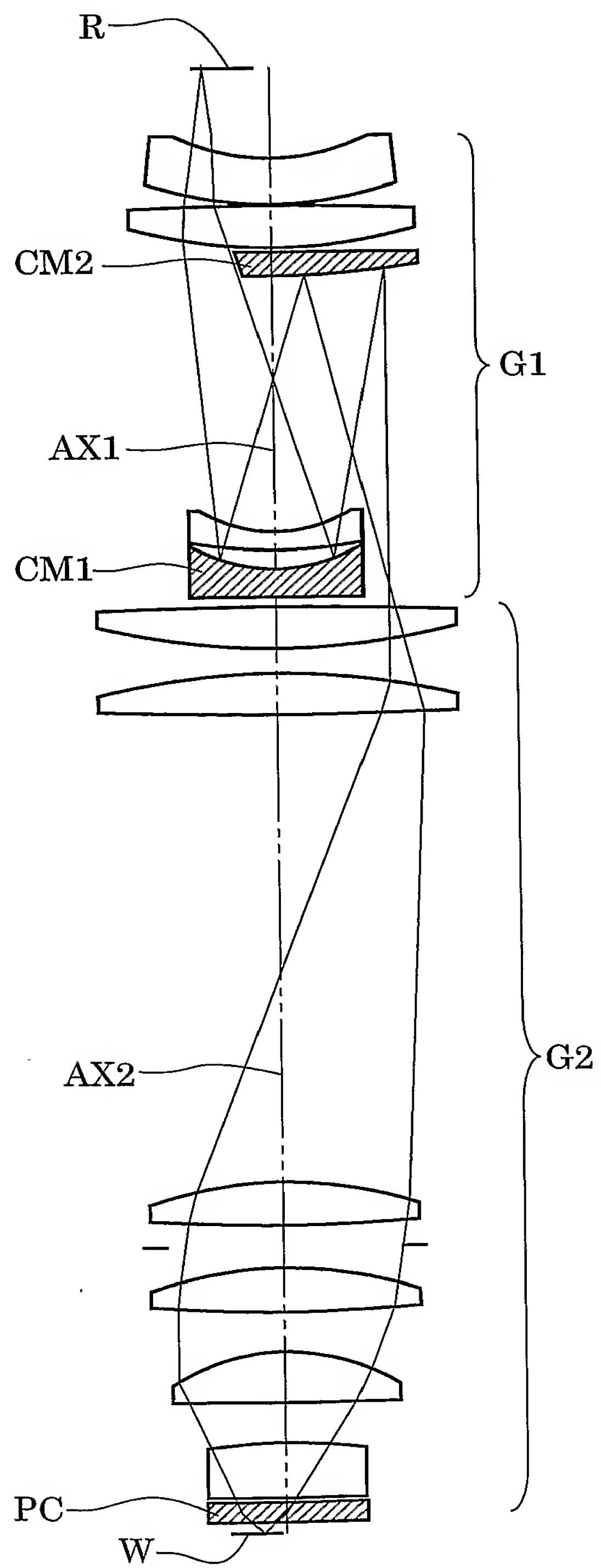
26 / 32

第 26 図



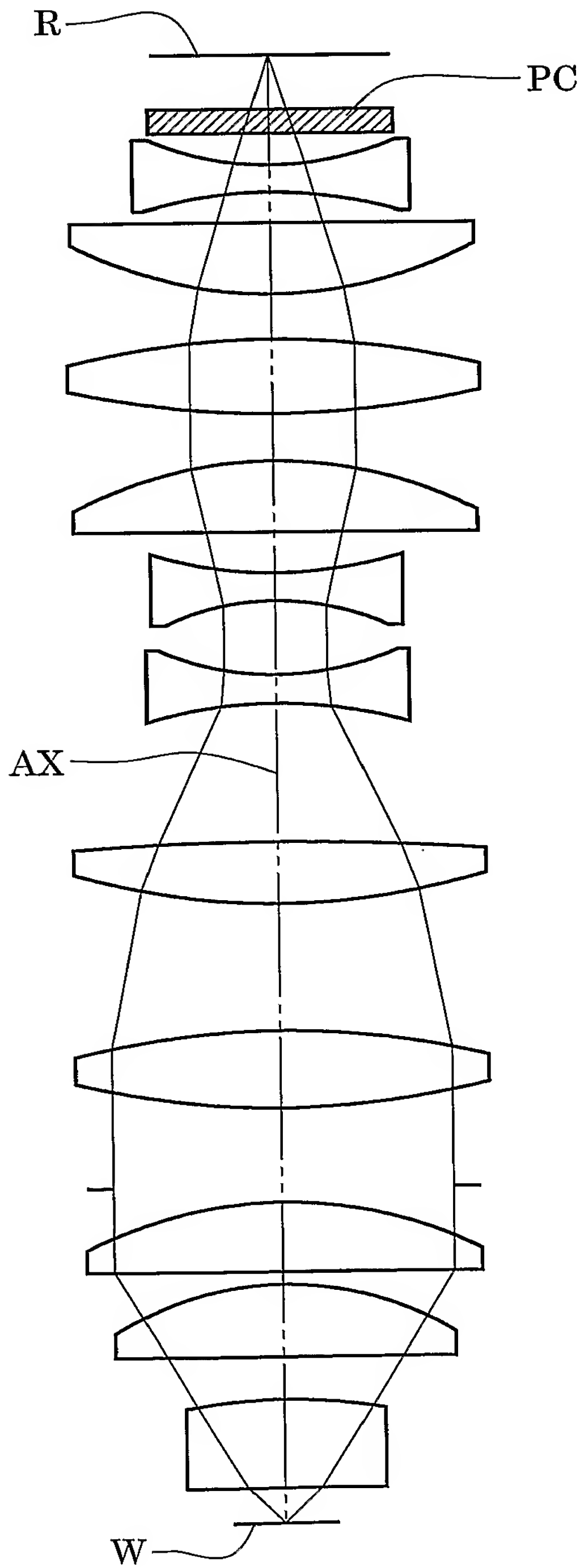
27 / 32

第 27 図



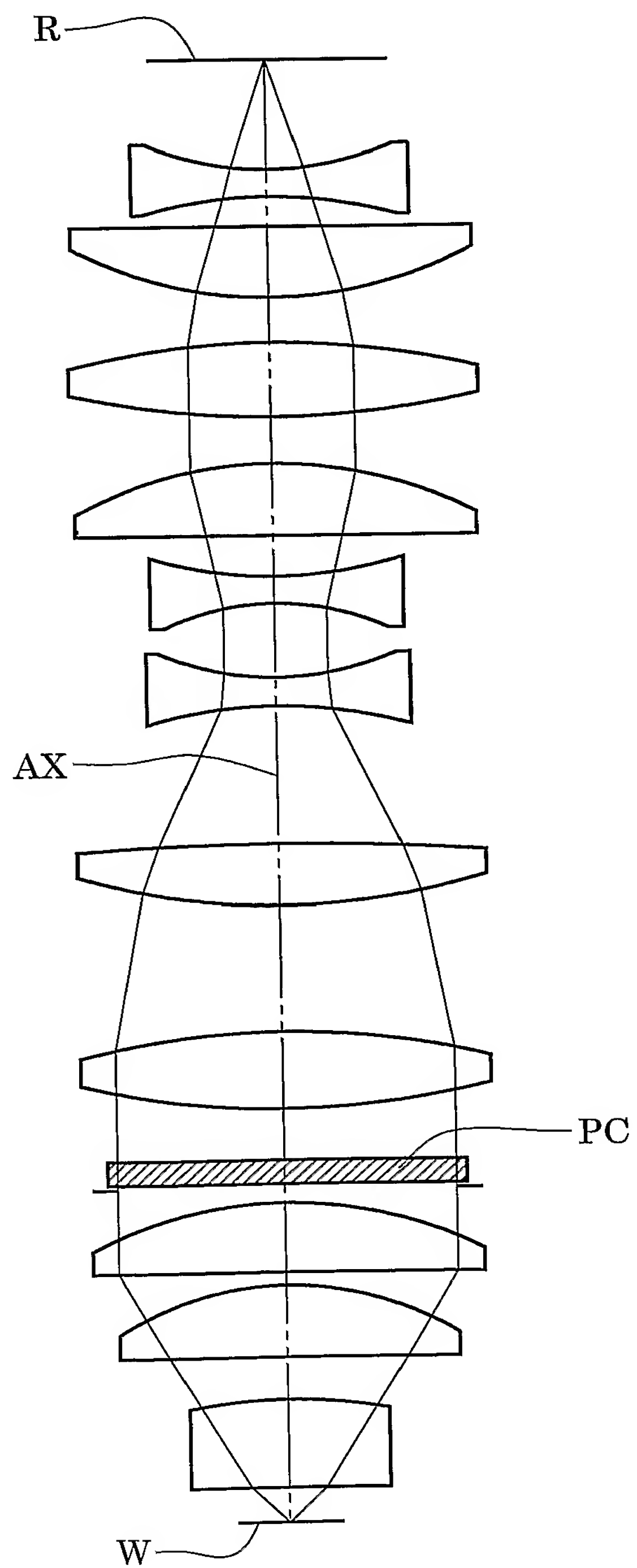
28 / 32

第 28 図



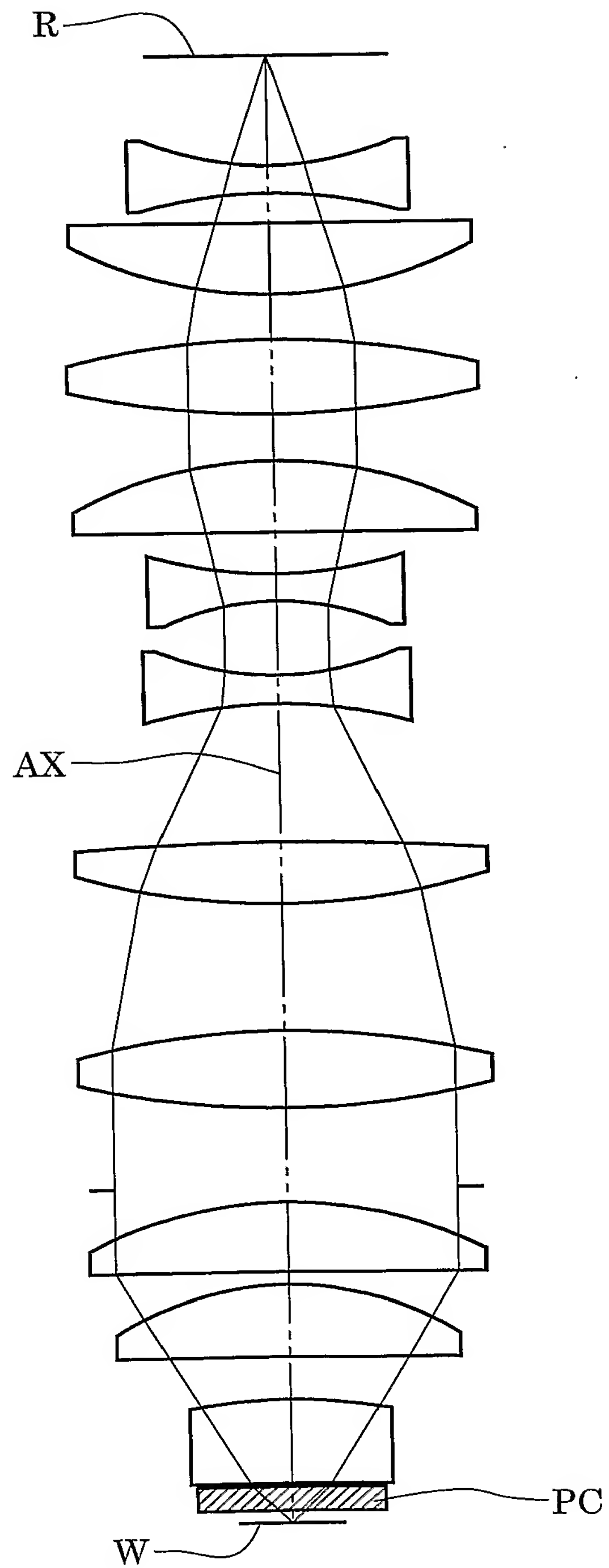
29 / 32

第 29 図



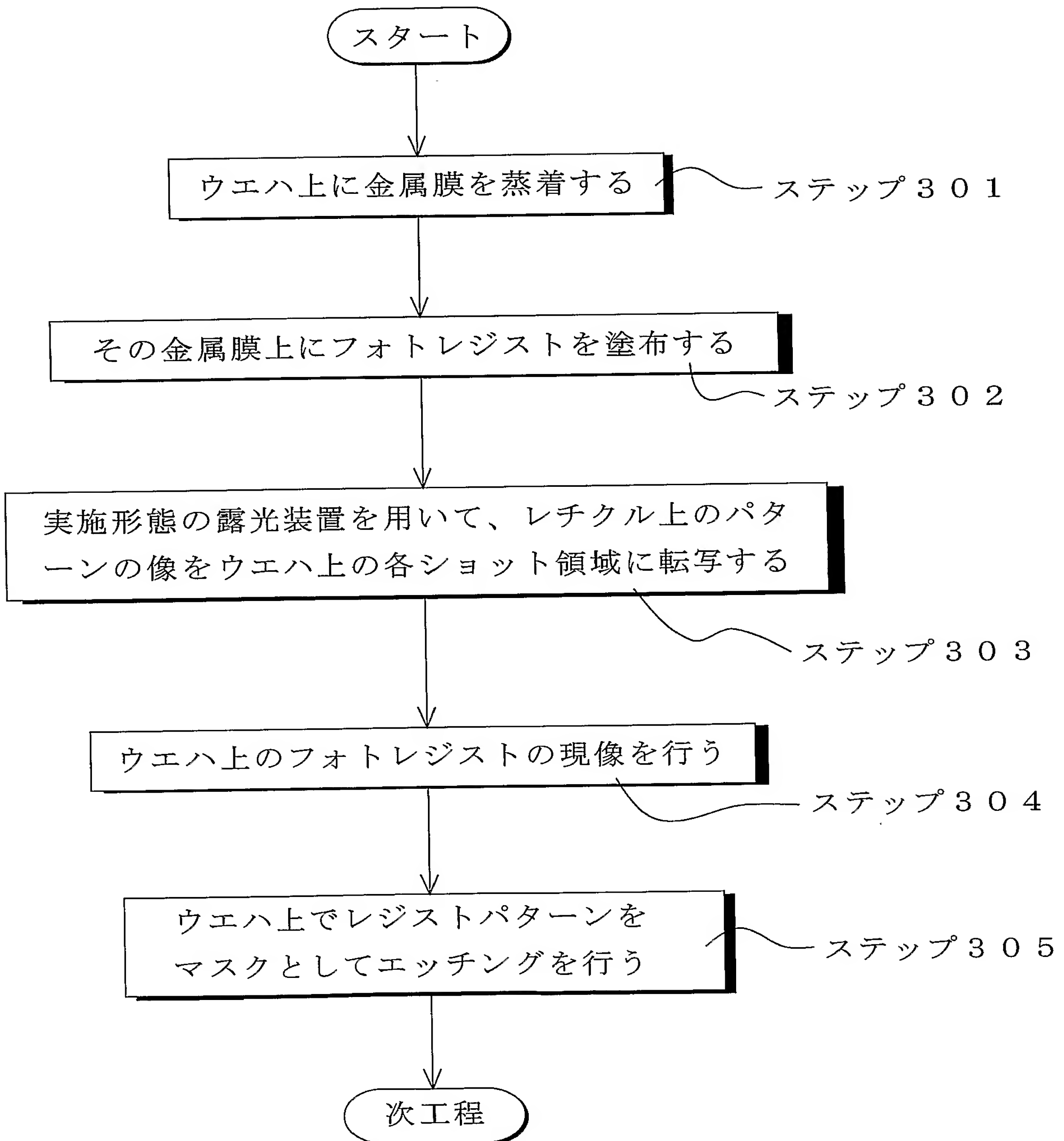
30 / 32

第 30 図



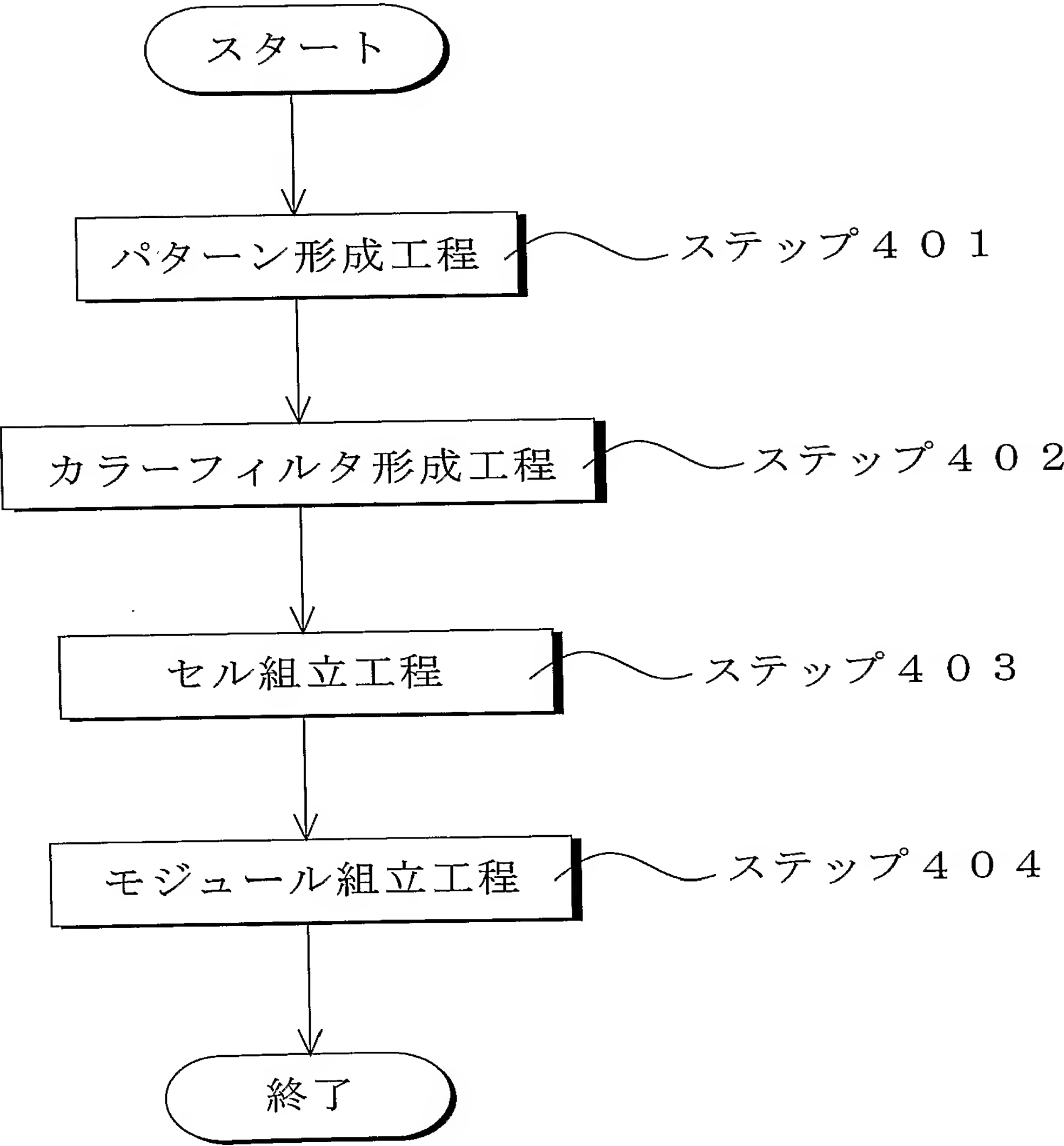
31 / 32

第31図



3 2 / 3 2

第 3 2 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/04142

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20, G02B27/28, G02B17/08, G02B13/24, G02B1/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L21/027, G02B17/08, G02B1/02

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2003
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2003	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2003

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2000-331927 A (Canon Inc.), 30 November, 2000 (30.11.00),	1, 2, 6, 7, 10-12, 19-24
Y	Full text (Family: none)	3-5, 8, 9, 13-18
Y	JP 8-107060 A (Nikon Corp.), 23 April, 1996 (23.04.96), Full text; (especially, Par. No. [0022]) (Family: none)	1-24
X	EP 1063684 A1 (Nikon Corp.), 27 December, 2000 (27.12.00),	1, 10-12, 19, 20, 22-24
A	The whole document & WO 00/41226 A1	2-9, 13-18, 21

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
02 July, 2003 (02.07.03)

Date of mailing of the international search report
15 July, 2003 (15.07.03)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/04142

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 11-054411 A (Canon Inc.), 26 February, 1999 (26.02.99), Full text; (especially, Par. Nos. [0063] to [0066]) (Family: none)	1-24
Y	EP 1191378 A1 (Nikon Corp.), 27 March, 2002 (27.03.02), The whole document; (especially Fig. 1) & WO 01/065296 A1	13,16,18
Y	EP 1168028 A2 (Nikon Corp.), 02 January, 2002 (02.01.02), Third embodiment; (especially, Par. No. [0111]), Fig. 8 & JP 2002-083766 A	13-17
Y	JP 2000-356701 A (Kabushiki Kaisha Oputoron), 26 December, 2000 (26.12.00), Par. Nos. [0017], [0018] (Family: none)	5,9
A	Physical Review B., Vol.64, 241102(R), John H.Burnett et al., "Intrinsic birefringence in calcium fluoride and barium fluoride", 29 November, 2001 (29.11.01), The whole document	1-24

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl ⁷ H01L21/027, G03F7/20 G02B27/28, G02B17/08, G02B13/24, G02B1/02		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl ⁷ H01L21/027 G02B17/08, G02B1/02		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2003年 日本国実用新案登録公報 1996-2003年 日本国登録実用新案公報 1994-2003年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2000-331927 A(キヤノン株式会社) 2000.11.30、全文、(ファミリーなし)	1, 2, 6, 7, 10-1 2, 19-24
Y		3-5, 8, 9, 13-1 8
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 02.07.03	国際調査報告の発送日 15.07.03	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 佐藤 秀樹 電話番号 03-3581-1101 内線 6480	2M 3154

C (続き). 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 8-107060 A(株式会社ニコン) 1996.04.23 全文 (特に[0022]段落)、 (ファミリーなし)	1-24
X	EP 1063684 A1(Nikon Corporation) 2000.12.27, the whole document & WO 00/41226 A1	1, 10-12, 19, 20, 22-24
A		2-9, 13-18, 21
A	JP 11-054411 A(キヤノン株式会社) 1999.02.26、全文 (特に[0063]-[0066]段落) (ファミリーなし)	1-24
Y	EP 1191378 A1(Nikon Corporation) 2002.03.27, the whole document(especially Fig.1) & WO 01/065296 A1	13, 16, 18
Y	EP 1168028 A2(Nikon Corporation) 2002.01.02 THIRD EMBODIMENT(especially [0111]), Fig. 8 & JP 2002-083766 A	13-17
Y	JP 2000-356701 A(株式会社オプトロン) 2000.12.26、[0017], [0018]段落、 (ファミリーなし)	5, 9
A	Physical Review B, Vol. 64, 241102(R) John H. Burnett et. al., "Intrinsic birefringence in calcium fluoride and barium fluoride" 2001.11.29 the whole document	1-24